



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВИМ САДА
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЉЕНО: 19. 12. 2008.

ОРГАНИЗ.ЈЕД. Б Р О Ј

0603 9/1852

NUKLEARNE ELEKTRANE - UTICAJ NA ŽIVOTNU SREDINU

- diplomski rad-

Mentor:

Doc.dr Nataša Todorović

Kandidat:

Stojsavljević Slađana

Novi Sad, 2008. godine

SADRŽAJ:

1. Uvod	3
2. Sastav atomskog jezgra	4
2.1. Radioaktivnost.....	6
2.2. Vreme poluraspada i aktivnost	7
3. Nuklearne reakcije	8
3.1. Osnovne činjenice o nuklearnim reakcijama	8
3.2. Način obeležavanja i podela nuklearnih reakcija	9
3.3. Fisija i fuzija.....	10
3.3.1. Fisija	10
3.3.2. Energetski bilans i uslovi odvijanja fisije	12
3.3.3. Lančana reakcija i načini korišćenja fisione energije	13
3.3.4. Fuzija	15
4. Nuklearne elektrane - princip rada	17
4.1. Konstrukcija reaktora	17
4.2. Nuklearno gorivo	18
5. Tipovi reaktora	19
6. Ciljevi nuklearne energetike - hladna fuzija	22
7. Nuklearne elektrane i zaštita životne sredine	24
8. Rasprostranjenost nuklearnih elektrana u svetu	26
9. Sigurnost nuklearnih elektrana. Poredjenje sa ostalim tipovima elektrana	27
9.1. Nesreće u nuklearnim elektranama	29
9.2. Načini na koji radioaktivne materije dospevaju u organizme živih bića	32
10. Stanje u Republici Srbiji	35
11. Zaključak	37
 Literatura	 39



1. Uvod

Svet je suočen sa sve ozbilnjijim problemom – nedostatkom energije! Države razmatraju kako da, na najbolji način, obezbede dovoljne količine nafte, gasa, uglja, električne energije. Cene fosilnih goriva vrtoglavu skaču, a na tržištu je sve teže doći do energenata. Uz to, stručnjaci i ekolozi upozoravaju da je neophodno da se hitno smanji zagadenje, a time i poguban uticaj klimatskih promena. Mada se vode oštре polemike oko toga da li se izgradnjom novih nuklearnih centrala rešava energetska sigurnost ili one predstavljaju ozbiljnu ekološku pretnju, širom planete niču novi reaktori.

Komisija EU objavila je izveštaj kojim predlaže da se Evropa u budućnosti orijentiše na nuklearne elektrane. U izveštaju o energetskoj politici naglašava se da samo 14 odsto energije koja se potroši u EU potiče od atoma i da nuklearne elektrane proizvode 18 odsto evropske električne energije. Komisija kaže da je cilj da EU do 2020. godine troši 20 odsto energije iz nukelarnih izvora. Iz zaključaka izveštaja proizilazi da će se potrošnja energije do 2020. godine udvostručiti, da će proizvodnja nafte opasti posle 2025. godine, a ugalj će ponovo postati važan izvor energije i njegova će cena znatno skočiti. Od 2020. godine sve češće će se pribegavati energiji iz obnovljivih izvora i nuklearnih elektrana, a od 2030. godine ovi izvori biće u masovnoj upotrebi. Komisija predviđa da će 2050. godine 33 odsto energije poticati iz nuklearnih izvora, 20 odsto iz nafte, 20 odsto iz prirodnog gasa, 20 odsto iz obnovljivih izvora energije i oko šest odsto iz uglja [10].

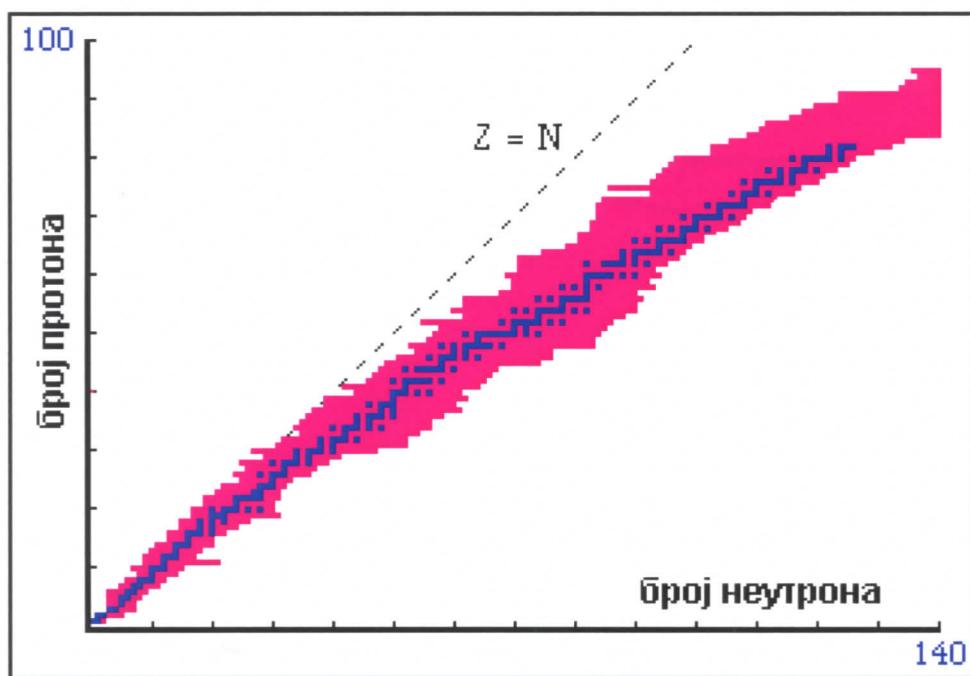
Činjenica je da nuklearne elektrane nude najjeftiniju i najčistiju električnu energiju. Međutim, njihova gradnja je osetno skuplja od drugih izvora. Za gradnju jednog megavata kapaciteta nuklearne elektrane neophodno je preko dva miliona dolara, za megavat termoelektrane - 1,5 milion i za megavat gasne elektrane svega 800 hiljada dolara. Očigledno je da izgradnju nuklearki ne usporavaju samo protesti građana i ekoloških organizacija, već i njihova cena. Uz to, gradnja nuklearnih elektrana traje mnogo duže nego kada je reč o drugim izvorima, odnosno termo ili gasnim elektranama[5].

2. Sastav atomskog jezgra

Nakon otkrića neutrona (Čedvik) 1932.godine, Hajzenberg je postavio do danas važeću proton-neutronsku teoriju strukture atoma.

Nuklearne sile koje protone i neutrone drže na okupu su najjače sile u prirodi. One su isključivo privlačne i svojim intenzitetom višestruko prevazilaze odbojne sile koje vladaju među protonima. Nuklearne sile, za razliku od gravitacionih i elektromagnetnih, deluju na veoma malim rastojanjima, polje njihovog dejstva je ograničeno na volumen jezgra. Jaka nuklearna sila na identičan način deluje i na protone i na neutrone, kao da se radi o identičnim česticama.

Jezgro kao celina može biti stabilno i nestabilno. Granica nije jasno određena, ali se stabilnom jezgrima mogu smatrati ona kojima se broj nije smanjio za neki značajni iznos u vremenskom intervalu reda veličine 10^{10} godina. Za sva jezgra koja se raspadaju brže od toga možemo reći da su nestabilna ili radioaktivna. U prirodi postoji oko 300 kako stabilnih, tako i radioaktivnih jezgara. Iz proste sistematike broja neutrona i protona svih jezgara čije su karakteristike poznate, može se videti da postoji relativno jasno određena oblast veličina Z i N u kojima jezgro može postojati. Na slici 3.1



Slika 1. Proton-neutron dijagram

je prikazan proton-neutronske dijagram na kome su ucrtana sva jezgra za koje se zna. Svakom pojedinačnom jezgru odgovara jedan kvadratični na šemi. Tamni kvadratični prikazuju jezgra koja postoje u prirodi. To su stabilna jezgra, kao i neka nestabilna kojima je period poluraspada dovoljno velik tako da se nisu raspala. Oni čine mali deo poznatih jezgara i često se nazivaju linija stabilnosti. Jezgra koja oivičavaju oblast stabilnih jezgara sa obe strane su nestabilna pa se putem jednog ili nekoliko raspada

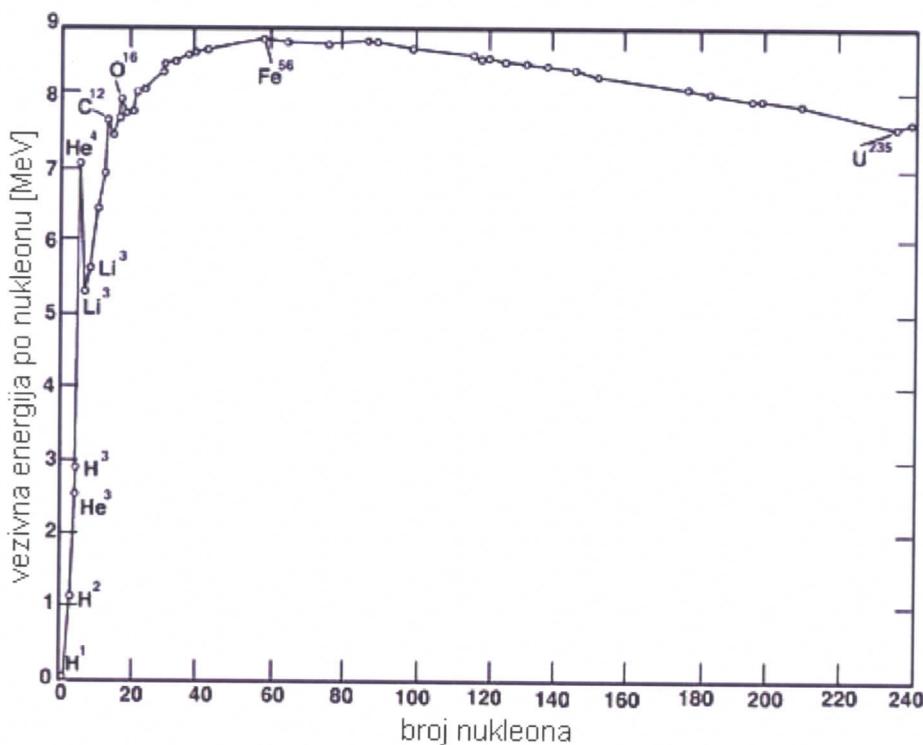
transformišu u neko od stabilnih jezgara. Kod lakših jezgara, do rednog broja 20 stabilna bivaju ona jezgra koja imaju jednak broj neutrona i protona. Od te pravilnosti se polako odstupa kako se ide ka jezgrima veće mase, jer kod jezgara sa većim atomskim brojem odbojne Kulonove sile koje vladaju između protona mogu da destabilišu jezgro. Stabilnost se tada postiže jačanjem nuklearnih sila, kojima intenzitet raste sa brojem nukleona.

Astonova merenja su pokazala da se broj dobijen kada se atomske mase izraze u atomskim jedinicama mase razlikuje od odgovarajućeg masenog broja. Ta razlika se naziva defekt mase. Kasnija merenja su pokazala da je zbir masa sastavnih delova atoma Z protona i $N-Z$ neutrona uvek veći od mase celog jezgra M_j . Veličina

$$E_v = [Z m_p + (A - Z) m_p - M_j(A, Z)] c^2$$

naziva se vezivna energija jezgra. Ona predstavlja minimalnu količinu energije koju je potrebno uložiti da bi se jezgro rastavilo na satavne delove. Ujedno to je ona količina energije koja bi se oslobođila prilikom spajanja Z slobodnih protona i $A-Z$ slobodnih neutrona u jezgro kao celinu.

Iz sistematike izmerenih vrednosti atomskih masa izračunate su vezivne energije za veliki broj jezgara. Za stabilna jezgra se obično prikazuje srednja energija veze po jednom nukleonu E_v/A u zavisnosti od masenog broja, što je predstavljeno na slici 2.



Slika 2. Srednja vezivna energija po jednom nukleonu u zavisnosti od masenog broja

Očigledno je da su sve vrednosti vezivne energije pozitivne veličine što znači da je masa bilo kog jezgra manja od zbira masa pojedinačnih nukleona. Sa slike 2 se može videti da kod lakih jezgara, do

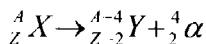
$A = 16$ postoji veoma brz porast energije veze po jednom nukleonu, sa jako izraženim pikom kod masenog broja 4. Znatno viša energija veze u odnosu na okolna jezgra navodi na zaključak da struktura od dva protona i dva neutrona ima visoku stabilnost. Nakon $A=16$ počinje oblast sa sporijim porastom vezivne energije po jednom nukleonu i ona se proteže sve do oblasti jezgara sa masenim brojem 60 gde kriva dostiže svoj maksimum od otprilike 8.5 MeV po jednom nuklonu. Znači, najstabilnija jezgra koja leže u ovoj oblasti su izotopi gvožđa, nikla i kobalta pošto oni imaju najveću prosečnu vezivnu energiju po jednom nuklonu. Slika 2 pokazuje da su laka jezgra podesna za sintezu (fuziju), a teška za fisiju. Energija koja se u procesu fuzije realizuje po nuklonu za laka jezgra je veća od one u procesu fisije za teška jezgra.

Nukleone na okupu drže privlačne sile koje potiču od njihovih međusobnih interakcija. O prirodi tih sila se može dobiti jedna veoma generalna karakteristika na osnovu sistematike vrednosti srednje vezivne energije po jednom nuklonu. Počev od masenog broja 16, vezivna energija po jednom nuklonu ima manje-više konstantnu vrednost, menja se u relativno uskom intervalu vrednosti od 7.5 do 8.5 MeV. Činjenica da je vezivna energija po jednom nuklonu skoro konstantna veličina za jezgra atomskog broja većeg od 16 može se objasniti prepostavkom da pojedinačni nukleoni ne interaguju sa svim ostalim nukleonima u jezgru već dolazi do izvesnog zasićenja broja veza među nukleonima, a do toga dolazi samo ukoliko je domet nuklearnih sila manji od dimenzija jezgra tako da svaki nukleon interaguje samo sa određenim brojem svojih najbližih suseda.

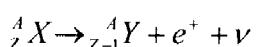
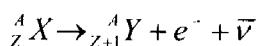
Nuklearne sile moraju biti znatno većeg intenziteta od Kulonovih odbojnih sile koje deluju između protona, kao tela istoimenog nanelektrisanja. Kod jezgara sa većim brojem protona, efekat Kulonovog odbijanja koje se javlja među protonima nije zanemarljiv, što znači da porastom broja protona u jezgru rastu i odbojne sile, što kao rezultat daje smanjenje vezivne energije po nuklonu[3].

2.1. Radioaktivnost

Radioaktivnost je proces u kome dolazi do spontane transformacije jezgra kojom prilikom ono menja svoj sastav ili energetsko stanje. Do promene sastava jezgra dolazi ukoliko se u procesu radioaktivnog raspada emituje čestica, dok emisija gama zračenja kod izomera menja samo energetsko stanje jezgra. Jedan od načina na koji prirodno jezgro može da doživi tu transformaciju je α -raspad.



Tom prilikom dolazi do emisije α -čestice. Drugi način je emisija β čestice koja je običan elektron.



I α i β raspad propraćeni su emisijom γ zračenja, koje je elektromagnetne prirode. U proces radioaktivnog raspada može da se ubroji i spontana fisija koju doživljavaju jezgra ^{238}U i još neka teška jezgra. Jezgro koje se raspada naziva se predak, dok se jezgro koje putem radioaktivnog raspada nastaje naziva potomak. Sa aspekta radioaktivnog raspada sva jezgra se dele u dve velike grupe: stabilna i nestabilna ili radioaktivna. Radioaktivna jezgra se mogu podeliti u dve grupe: prirodna i veštačka. Veštačka jezgra ne postoji u prirodi, ona su proizvedena u nuklearnim reakcijama i do sada postoji evidencija o više od 2000 takvih jezgara. U prirodi se može naći izvestan broj izotopa, oko šezdesetak, koji su nestabilni i raspadaju se [1].

2.2. Vreme poluraspada i aktivnost

Radioaktivna jezgra, bez obzira na vrstu raspada, transformišu se nezavisno jedna od drugih i od spoljašnjih uticaja (osvetljenosti, pritiska, temperature i slično). Zato se može smatrati da je broj jezgara dN koja se raspadaju srazmeran broju još neraspadnutih jezgara atoma N u intervalu vremena $d t$, u toku kojeg se odvija proces raspada. To znači da svako jezgro atoma radioaktivne supstance ima jednaku verovatnoću da se dezintegriše u istom intervalu vremena. Tu verovatnoću određuje konstanta radioaktivnog raspada λ , ona je karakteristična veličina za svaki radioaktivni element. Broj raspada u određenom vremenskom intervalu bi bio :

$$dN = \lambda \cdot N \cdot dt$$

Integracijom jednačine dobija se dobro poznati zakon radioaktivnog raspada:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

koji nam kazuje da se broj radioaktivnih jezgara u nekom uzorku eksponencijalno smanjuje sa vremenom t. Veličina $\lambda \cdot N = \frac{dN}{dt}$ predstavlja aktivnost radioaktivnog uzorka i označava se :

$$A = \lambda \cdot N$$

Za neke praktične upotrebe jednostavnije je poznavati period poluraspada nekog radioizotopa. Period poluraspada $T_{1/2}$ je ono vreme za koje će se od početnog broja nestabilnih jezgara u nekom uzorku raspasti tačno polovina njih:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

Vreme poluraspada za do sada poznata radioaktivna jezgra nalazi se u intervalu $3 \cdot 10^{-7}$ s do 10^{15} godina [1].

3. Nuklearne reakcije

Pod pojmom nuklearnih reakcija podrazumevaju se svi oni procesi do kojih dolazi prilikom sudara dve čestice, proste ili složene , najčešće pod dejstvom nuklearnih sila. Tom prilikom dolazi do razmene energije između učesnika reakcije kao i do promene sastava nekih od njih. Širok je spektar čestica koje mogu uzeti učešće u nuklearnim reakcijama, od ogoljenih teških jezgara (bez_razmene energije između učesnika reakcije kao i do promene sastava nekih od njih. Širok je spektar čestica koje mogu uzeti učešće u nuklearnim reakcijama, od ogoljenih teških jezgara (bez_elektronskog omotača) do raznih elementarnih čestica. U prvim decenijama razvoja nuklearne fizike, jedino su visokoenergetske alfa čestice imala dovoljnu energiju da se probiju do lakših jezgara, i sve do puštanja u pogon prvih akceleratora, bile su jedini projektili koji su mogli dovesti do nuklearnih reakcija. Transmutaciju, ili promenu sastava nekog jezgra u laboratorijskim uslovima, pod dejstvom alfa čestica, prvi je put registrovao Raderford 1919.godine. U narednih dvadesetak godina, detaljno su ispitane sve nuklearne reakcije koje mogu biti izazvane alfa česticama emitovanim iz prirodnog radioizotopa. 1934.godine, Žolio i Irena Kiri su bombardovali aluminijumsku metu i tom prilikom su dobili novo radioaktivno jezgro, po prvi put proizvedeno u laboratoriji. Na ovaj način je proizведен izotop ^{30}P , prvi poznati pozitronski emiter. Ovaj događaj je u izvesnoj meri odredio jednu od najznačajnijih namena nuklearnih reakcija: proizvodnju radioizotopa koji u prirodi ne postoje.

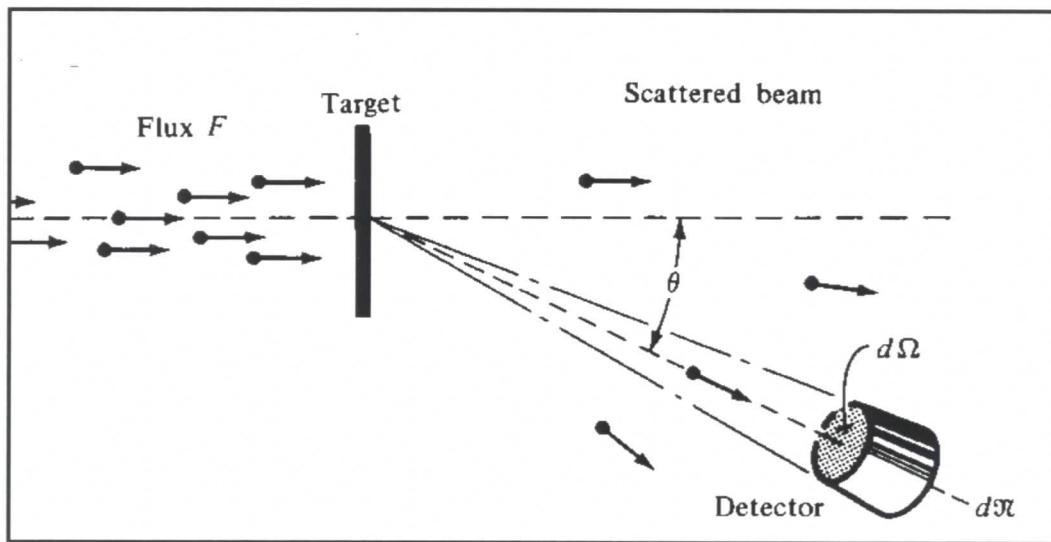
Nuklearne reakcije su zanimljive jer pružaju obilje eksperimentalnih činjenica kojima se mogu steći nova saznanja o samom jezgru. Akceleratori, čiji je razvoj počeo još ranih tridesetih godina dvadesetog veka, ubrzavaju čestice do veoma visokih energija, što je otvorilo nove mogućnosti za izvođenje nuklearnih reakcija. Sa energijama projektila od preko 100MeV po nukleonu, osim transmutacije jezgara, dolazi do oslobođanja elementarnih čestica u laboratorijskim uslovima, što je otvorilo potpuno novu oblast-fiziku elementarnih čestica.

Konačno, treba pomenuti i jedno od najznačajnijih svojstava nuklearnih reakcija. U procesima nuklearnih reakcija može doći do oslobođanja energije. U prirodi se nuklearne reakcije odvijaju u zvezdama i to je osnovni izvor energije koju one emituju. Evolucija zvezda se može objasniti kroz različite tipove reakcija koje se unutar nje odvijaju. Hemijski elementi koji izgrađuju naš svet nastali su u jezgrima zvezda a eksplozijama supernovih se oslobođaju u okolini prostora. Pred početkom drugog svetskog rata, primećeno je da se u fisiji, tj. reakciji cepanja koje uranovo jezgro doživi nakon zahvata neutrona oslobođa znatna energija koja je svoju primenu našla u nuklearnom oružju. Ubrzo je ustanovljeno da se fuzijom, tj. sintezom lakših jezgara u teže, može osloboditi još veća energija[1].

3.1. Osnovne činjenice o nuklearnim reakcijama

Najčešći tip nuklearnih reakcija koje se izvode u laboratorijskim uslovima je reakcija gde se nekom lakovom česticom bombarduje teže jezgro, a kao rezultat se dobijaju takođe jezgro i jedna laka

čestica. One se izvode na taj način da se luke čestice ubrzaju do određene energije, a zatim usmeravaju na nepokretnu metu od odabranog materijala.



Slika 3: Šematski prikaz nuklearne reakcije i detekcije emitovanih čestica

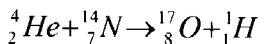
Prilikom izvođenja jednog ovakvog eksperimenta izučavaju se totalni i diferencijalni efikasni presek za određeni tip reakcije kao mera verovatnoće dešavanja tog procesa, ugaona distribucija emitovanja čestica koje se dobijaju kao proizvodi reakcije, energetski bilans celog procesa itd.

3.2. Način obeležavanja i podela nuklearnih reakcija

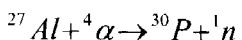
Uobičajen zapis jedne nuklearne reakcije sličan je načinu na koji se predstavljaju reakcije u hemiji. Na levoj strani zapisa su čestice koje stupaju u nuklearnu reakciju, dok se sa desne strane navode čestice koje su tom prilikom nastale:



gde bi a bila laka čestica-projektil, A je jezgro na kome se nuklearna reakcija dešava, B je jezgro koje nastaje u reakciji dok je b čestica koja se tom prilikom emituje. U literaturi se često može naći i kompaktniji način zapisa nuklearne reakcije: $A(a,b)B$. Ako se govori samo o tipu reakcije, kada nas interesuju jedino projektil i laka čestica koja se u reakciji oslobađa, uobičajeno je da se napiše samo (a,b) . Na ovaj način prva nuklearna reakcija primećena u Raderfordovoj laboratoriji bi se mogla predstaviti kao:



ili ${}_{\gamma}^{14}N(\alpha, p){}_{\gamma}^{17}O$. Ako koristimo dobro poznate simbole nuklearna reakcija kojom su Žolio i Irena Kiri dobili indukovani aktivnost predstavlja kao:



Od „istorijskih“ nuklearnih reakcija treba pomenuti i onu putem koje je Čedvik 1932.godine otkrio neutron:



U prirodi postoji oko 300 poznatih izotopa, od kojih je nešto više od 50 radioaktivno.Osim njih poznato je još oko 2000 nestabilnih izotopa, koji su proizvedeni uglavnom u istraživačke svrhe u laboratorijskim uslovima. Svi su proizvedeni putem nuklearnih reakcija. Broj nuklearnih reakcija koje su do sada realizovane prelazi deset hiljada, pa se one na neki način moraju klasifikovati. Postoji nekoliko načina na osnovu kojih se to može učiniti:

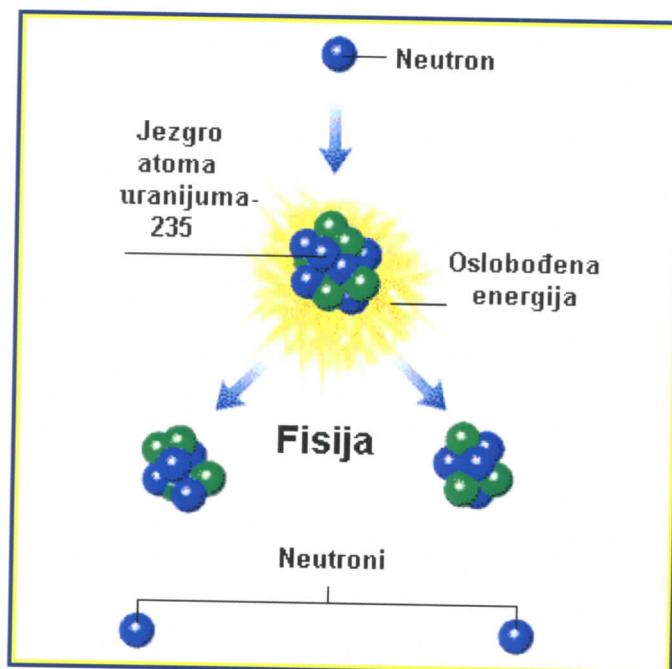
- a) na osnovu energije projektila,
- b) na osnovu vrste projektila,
- c) na osnovu veličine jezgra mete,
- d) po tipu procesa i
- e) po energetskom bilansu.

3.3. Fisija i fuzija

Pomenuto je da se zna više od deset huljada različitih nuklearnih reakcija, od kojih svaka ima određeni naučni značaj. Postoje dva tipa nuklearnih reakcija koja su mnogo bolje izučena od svih ostalih.To su fisija ili deljenje teških jezgara na dva ili ređe više fragmenata i fuzija ili spajanje dva lakša jezgra kojom prilikom se dobija jedno teže. Ove reakcije su značajne jer se u njima oslobađa znatna energija. Fisija je veoma brzo našla svoju praktičnu primenu, prvo u izradi nuklearnog oružja, a malo zatim i u mirnodopske svrhe kao osnovni proces u kojem se u nuklearnim elektranama oslobađa energija. Nuklearna fuzija se odvija unutar zvezda u takozvanim termonuklearnim procesima a energija koja se tom prilikom oslobađa emituje se u okolini prostora i zahvaljujući energiji termonuklearnih procesa koji se odvijaju u Sunču, na našoj planeti postoje uslovi za razvoj života. U zemaljskim uslovima, nekontrolisana fuzija je primenjena kod oružja, takozvane hidrogenske bombe, a tehnologija u kojoj bi se fuzija upotrebljavala kao kontrolisani izvor energije još uvek nije pronađena.

3.3.1. Fisija

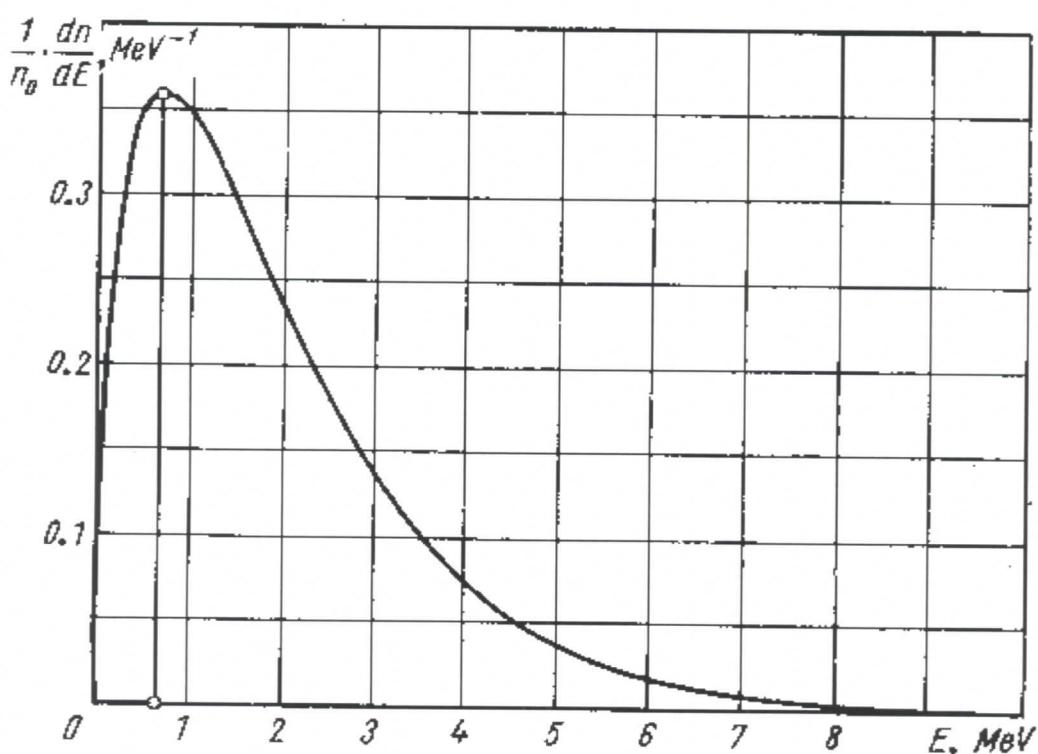
Istorijat aktivnosti koje su se odvijale u velikom broju laboratorija u svetu a koje su konačno dovele do saznanja o mogućnosti cepanja jezgra je vrlo zanimljiv. 1934.godine, Enriko Fermi je sa svojim saradnicima počeo da bombarduje neutronima razne elemente. Svrha ovih eksperimenata je bila da se u nuklearnoj reakciji zahvata neutrona ${}_Z^A X(n, \gamma) {}_{Z+1}^{A+1} X$ dobije izotop sa jednim neutronom viška. Kako bi novi element imao jedan neutron viška, veoma često bi se β^- raspadom transformisao u izotop ${}_{Z+1}^{A+1} Y$. No ukoliko bi kao meta za jedan ovakav eksperiment poslužio neki od izotopa urana, na primer ${}^{238}U$, koga ima preko 99% u izotopskom sastavu prirodnog elementa, zahvatom neutrona bi se dobio nestabilni ${}^{239}U$, koji bi se emisijom negativne β^- čestice transformisao u element sa rednim brojem $Z = 93$. Ovakav prvi transuranski element ne postoji u prirodi što je već bilo dovoljno da posluži kao naučni izazov. U to doba jedini način da se on registruje je bio da se meri aktivnost celog uzorka nakon bombardovanja neutronima. Razne laboratorije su izveštavale o različitim vremenima poluraspada aktivnosti indukovane tokom eksperimenta. 1938.godine su Irena Kiri i Pavle Savić objavili da su neutronskim zahvatom na uraniju dobili produkt reakcije koji se raspada sa periodom poluraspada od 3.5 sati, a po hemijskim osobinama je sličan lantanu, elementu koji spada u grupu retkih zemalja. Oni su prepostavili da se tu radi o transuranskom elementu. Iste godine su Han i Štrasman izveli detaljnu hemijsku analizu produkata reakcije zahvata neutrona na uraniju i nedvosmisleno pokazali da se tom prilikom stvaraju lakši elementi. Godinu dana kasnije su Majtner i Friš i teorijski pokazali da je proces deljenja uranovog jezgra na dva fragmenta moguć.



Slika 4: Šematski prikaz fisije

3.3.2. Energetski bilans i uslovi odvijanja fisije

S obzirom da je proces fisije pronašao svoju primenu upravo zbog velike energije koja se oslobađa prilikom deobe jednog teškog jezgra, ako pogledamo sliku 2, može se videti da je energija veze po jednom nukleonu oko 7.6 MeV u oblasti teških jezgara, kao što je uranijum. Prepostavimo da se jezgro uranijuma deli na dva jednakaka fragmenta. Jezgra sa masenim brojem dvostruko manjim od uranijumovog imaju energiju veze po jednom nukleonu oko 8.5 MeV. To znači da su jezgra oko sredine periodnog sistema bitno stabilnija. Za račun razlike u vezivnoj energiji prilikom stvaranja dva lakša jezgra, oslobađa se oko 0.9 MeV po jednom nuklonu, što bi konačno iznosilo preko 200 MeV u slučaju deobe nekog od uranijumovih izotopa. Ova se energija oslobađa u vidu kinetičke energije



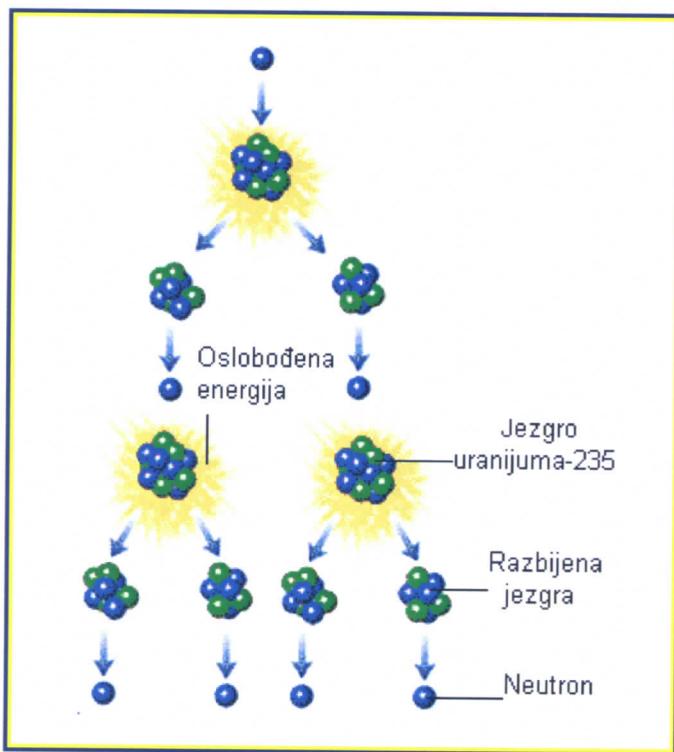
Slika 5. Energetski spektar fisionih neutrona

novonastalih čestica. Domet fisionih fragmenata u vazduhu je oko 2cm a u drugim materijalima je još manji. Sudarima sa okolnim atomima fisioni fragmenti veoma ubrzano predaju svoju energiju, što kao konačan rezultat ima povišenje unutrašnje energije okoline tj. njeno zagrevanje. Energija koja potiče od razlike u vezi teških i srednjih jezgara se manifestuje kao topotna energija. Ova se energija u nuklearnim reaktorima konvertuje u električnu energiju. Na uranijumu je prvi put primećena fisija, a danas se najčešće koristi kao gorivo u nuklearnim elektranama. Prirodni uranijum predstavlja smesu dva izotopa: ^{235}U koji je zastupljen sa 0.72% i ^{238}U koga ima 99.28%. Oba su izotopa nestabilna, raspadaju se emisijom α čestice i mogu se naći u prirodi samo zahvaljujući činjenici da im je period

poluraspada $7.1 \cdot 10^8$ i $4.5 \cdot 10^9$ godina. Energija veze koja se oslobađa kada neutron bude zahvaćen od strane jezgra ^{235}U iznosi 6.8 MeV, dok za istu reakciju na ^{238}U ona iznosi 5.5 MeV. Da bi ^{238}U doživeo fisiju zahvatom neutrona potrebno je da neutron ima energiju višu od 1.6 MeV [1].

3.3.3. Lančana reakcija i načini korišćenja fisione energije

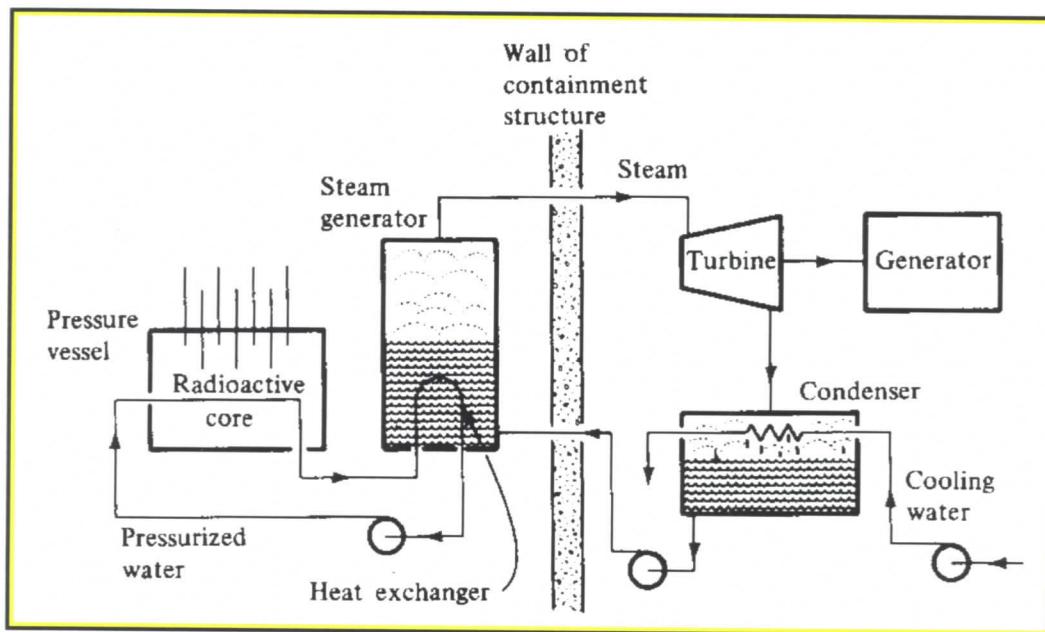
Za odvijanje procesa fisije neophodno je obezbediti interakciju neutrona sa jezgrom ^{235}U . U tom procesu će se osloboediti dva ili tri nova neutrona, sve u zavisnosti na kakve se fragmente raspalo jezgro uranijuma. Neka su ovo neutroni prve generacije. Ukoliko bi dva od njih uspela da izazovu nove fisije stvorilo bi 4 neutrona druge generacije. U sledećoj generaciji bilo bi ih 8, pa 16,32,64 itd. Broj neutrona bi se uvećavao a samim tim i broj realizovanih fisija bi se veoma brzo umnožavao. Ovaj proces se naziva lančana reakcija. Kako je vreme potrebno za jednu fisiju reda veličine 10^{-7} s može se odigrati 2^{100} ili otprilike 10^{30} fisija. Kako se pri svakom aktu fisije oslobođa oko 200 MeV, vidi se da se deljenjem uranovih jezgara mogu dobiti ogromne količine energije.



Slika 6: Šematski prikaz lančane reakcije

Lančana reakcija u kojoj se broj neutrona ovako progresivno umnožava se delimično realizuje u nekontrolisanoj fisiji, koja se javlja prilikom eksplozije nuklearnog naoružanja. Za svaku drugu kontrolisanu upotrebu fisije kao izvora energije, neophodno je ostvariti uslove da se lančana reakcija

odvija sa identičnim brojem fisija u svakom vremenskom trenutku, to znači da je za nove fisije neophodno da se iskoristi samo jedan neutron od prosečnih 2.5 koliko ih se emitiše prilikom cepanja jednog jezgra ^{235}U . Najveća verovatnoća da dođe do fisije je kada neutroni imaju termalnu energiju. Iz energetskog spektra (sl.5) se vidi da je srednja energija fisionih neutrona negde oko 1 MeV, što nije dovoljno za fisiju ^{238}U . Fisiju na ^{235}U neutroni ovako visoke energije mogu da ostvare ali sa znatno manjom verovatnoćom, što ne obezbeđuje uslove za lančanu reakciju. Da bi se obezbedili uslovi za lančanu reakciju treba stvoriti uslove da neutroni kroz sudare gube svoju energiju bez zahvata od strane materijala kroz koji se kreću. Materijali koji vrše usporavanje neutrona zovu se moderatori i sačinjeni su uglavnom od lakih elemenata (grafit, voda, teška voda, berilijum). Od moderatora se očekuje da uspori neutrone, ali da im ne smanji broj kroz nuklearne reakcije. Da bi se ostvario dovoljan broj fisija, neophodno je popraviti odnos broja jezgara ^{235}U prema broju jezgara izotopa ^{238}U . U tom slučaju, se pribegava obogaćivanju uranijumskog goriva tj. podizanju udela ^{235}U . To se izvodi tehnikom izotopske separacije tako da se u uranijumskom gorivu nalazi od 2 do 5% izotopa ^{235}U .

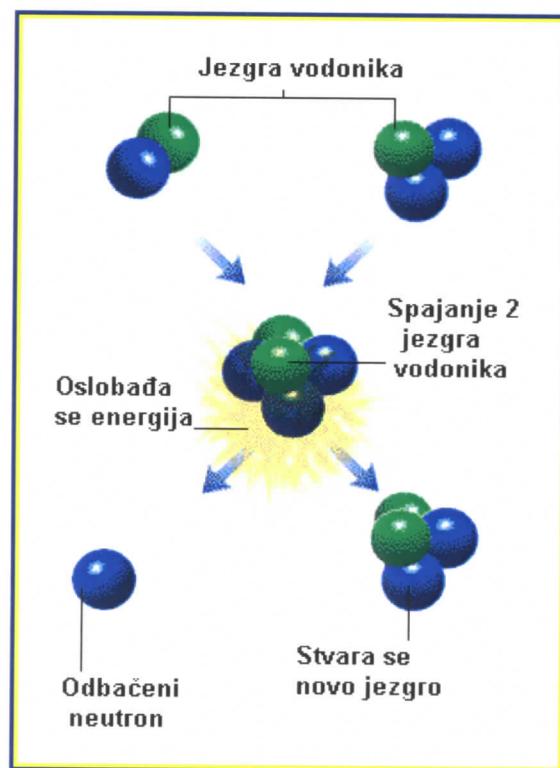


Slika 7. Šematski prikaz jednog energetskog reaktorskog postrojenja

Kontrolisana fisija, gde se broj deljenja jezgara ^{235}U održava konstantnim u vremenu se odvija u nuklearnim reaktorima. Njegov najvažniji deo je jezgro u kome se nalazi gorivo, uglavnom od uranijuma i moderatora. Kroz konstantan broj fisija koje se dešavaju u reaktorskom jezgru oslobađa se određena količina energije koja se uz pomoć nekog fluida odnosi i koristi, najčešće za proizvodnju električne energije, ali mogu i da služe za pogon brodova i podmornica.

3.3.4. Fuzija

Nuklearna fuzija je proces koji takođe stvara ogromne količine energije. Ovaj proces se odigrava prirodno u Sunčevom jezgru stvarajući energiju i svetlost kojom nas Sunce obasjava. Na temperaturi od oko 14 miliona Celzijusovih stepeni jezgra 2 atoma vodonika se spajaju. U tom procesu deo mase se gubi pretvarajući se u energiju. Naučnici pokušavaju da otkriju način da ovaj proces primene i u nuklearnim centralama kako bi dobili sigurniji i manje štetan način za dobijanje velikih količina energije.

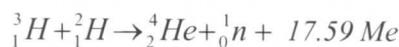
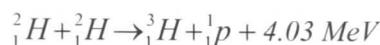
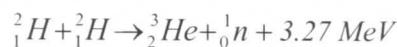


Slika 8. Šematski prikaz fuzije

Nuklearna fuzija lakih elemenata oslobađa energiju koja je izvor zračenja zvezda ili izaziva eksploziju u nuklearnim bombama. Nuklearna fuzija težih elemenata (apsorbuju energiju) događa se pri ekstremno visokim energetskim uslovima pri eksplozijama supernove. Nuklearna fuzija u zvezdama i u supernovama je primarni proces putem kojeg se stvaraju novi hemijski elementi u prirodi. Za razliku od procesa fisije, kada se deoba jezgara inicira apsorpcijom neutralnog neutrona, za koga Kulonov potencijal jezgra ne predstavlja prepreku, da bi se naprimjer dva jezgra ${}^{20}N$ približila do rastojanja na kojima deluju kratkodometne nuklearne sile, potrebno je jedno od njih ubrzati do energije od 21.2MeV. U tom slučaju energija koja se dobije u procesu fisije jednaka 41.9MeV. Dakle, u procesu fisije lakih jezgara se oslobađa energija, ali da bi do toga moglo doći, potrebno ju je i uložiti, i to u onom iznosu koji omogućava savlađivanje Kulonovih sila kojima se dva pozitivna jezgra odbijaju. Sa tehničke tačke gledišta, mnogo je izvodljivija fuzija veoma lakih jezgara, tipa

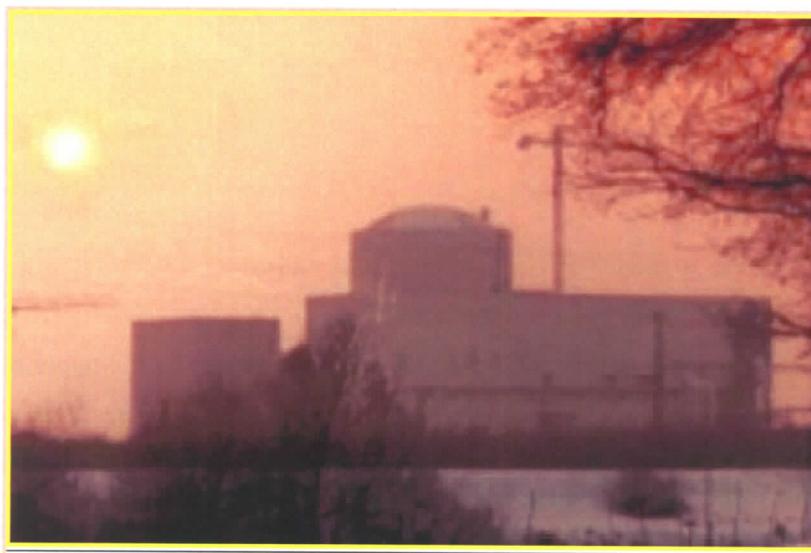


vodonikovih i helijumovih izotopa. Sa praktične tačke gledišta, najmanje je energije potrebno uložiti da bi došlo do spajanja vodonikovih izotopa deuterijuma i tricijuma. Zato su i najzanimljivije sledeće reakcije:



Postoji veliki interes za tehnologojom u kojoj bi se fuzija mogla koristiti kao izvor energije. Fisija uranijuma ostavlja stotine radioaktivnih produkata, od kojih neki zbog velike vrednosti perioda poluraspada mogu veoma dugo da predstavljaju potencijalnu opasnost za okolinu. Proces fuzije bi bio veoma čist izvor energije koji za sobom ne bi ostavljao radioaktivni otpad. Količina deuterijuma koja se nalazi u okeanima u obliku molekula teške vode D₂O ili DHO, dovoljna je da se u fuzionom reaktoru koriste milionima godina.

U zemaljskim uslovima kontrolisana fuzija još uvek nije realizovana. Osnovni tehnički problem koji se ovde pojavljuje je visoka temperatura, reda veličine desetak miliona stepeni koja je potrebna da bi se u procesu termonuklearne reakcije ostvarila fuzija laksih jezgara. Toliko visoke temperature ne može da izdrži ni jedan nama poznati materijal, tako da se postavlja pitanje lokalizacije fuzionog materijala. Kako se na visokim temperaturama materija nalazi u stanju plazme, najverovatniji način da se ona drži u nekoj kontrolisanoj zapremini je putem jakih magnetnih polja. Kao najbolji kandidati za realizaciju kontrolisane fuzije, za sada se vide deuterijum i tricijum koji bi davali helijum kao konačni produkt, uz oslobođanje energije.



Slika9. Parni tornjevi su objekti koji ljude obično podsećaju na nuklearne elektrane

4. Nuklearne elektrane - Princip rada

Uobičajeno je da se celokupna oprema nuklearnih elektrana deli u dve osnovne grupe:

- a)** konvencionalni deo elektrane
- b)** nuklearni deo elektrane

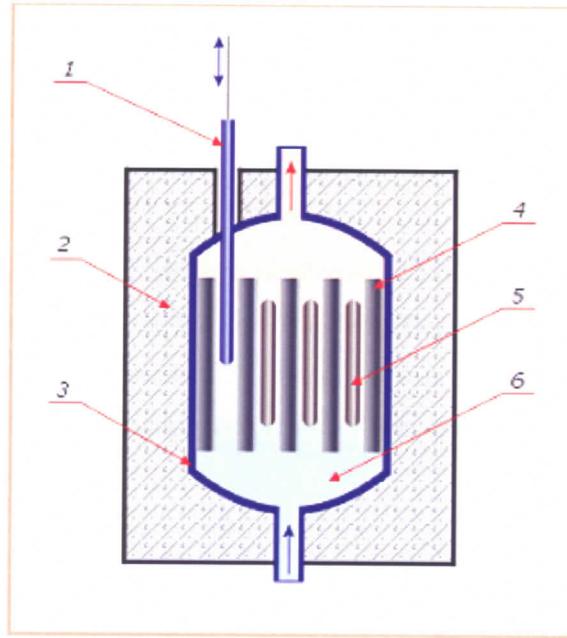
Konvencionalni deo elektrane je u suštini identičan za sve elektrane kako nuklearne tako i konvencionalne. On sadrži turbinu sa elektrogeneratorom i cirkulacioni krug sa fluidom u koji ulaze cevovodi za paru, kondenzatori pare i pumpe koje vraćaju kondenzat u sistem.

Nuklearni deo elektrane sadrži nuklearni reaktor koji je izvor energije i generatore pare u kojima se toplota proizvedena nuklearnim procesima u reaktoru prenosi na paru kao pokretač za turbinu. Reaktor i generatori pare su povezani cevovodima kojima cirkuliše tečnost za hlađenje pokretana pumpama. Reaktor i parogeneratori vrše identičnu funkciju kao parni kotao u konvencionalnoj elektrani. Pored osnovnog cirkulacionog krugasa tečnošću za hlađenje, nuklearni deo elektrane sadrži i niz sigurnosnih i pomoćnih sistema kojima se obezbeđuje sigurnost pogona , kontroliše rad elektrane i održavaju radni parametri . Ovi sistemi vrše i niz drugih funkcija kao što su: punjenje i pražnjenje primarnog cirkulacionog kruga tečnošću za hlađenje; prečišćavanje te tečnosti i uklanjanje radioaktivnih otpadaka, kontrola hemijskih osobina tečnosti i odvođenje zaostale toplote po zaustavljanju rada reaktora u slučaju akcidenta itd.

Nuklearni deo elektrane po pravilu je prostorno odvojen od konvencionalnog dela i smešten ispod zaštitne kupole(kontejnment) čija je funkcija da u slučaju akcidenta na nuklearnom delu opreme spreči rasipanje radioaktivnog materijala po okolini [5] .

4.1. Konstrukcija reaktora

Prema konstruktivnom obliku reaktor može biti sud pod pritiskom, u kome je nuklearno gorivo prema određenom rasporedu uronjeno u moderator odnosno rashladni medijum, ili moderator i rashladni medijum mogu biti odvojeni . Gorivo može biti smešteno u cevi kroz koje protiče rashladni medijum . Cevi su pod pritiskom , a tip reaktora koji je konstruisan na taj način klasificuje se kao tip „cevi pod pritiskom ” .



Slika 10:Heterogeni nuklearni reaktor:

1-kontrolne šipke; 2-biološka zaštita; 3-zaštita; 4- moderator neutrona;
5-nuklearno gorivo; 6-prevodilac topline

Sastavljanjem raznih karakteristika reaktora moguće je dobiti veliki broj kombinacija, od kojih su samo neke teorijski pogodne za formiranje određenog tipa reaktora.

Postoji veliki broj tipova reaktora, ali svi oni imaju četiri osnovna dela : gorivo, moderator, sistem za odvođenje topline ili sistem za hlađenje i zaštita [11] .

4.2. Nuklearno gorivo

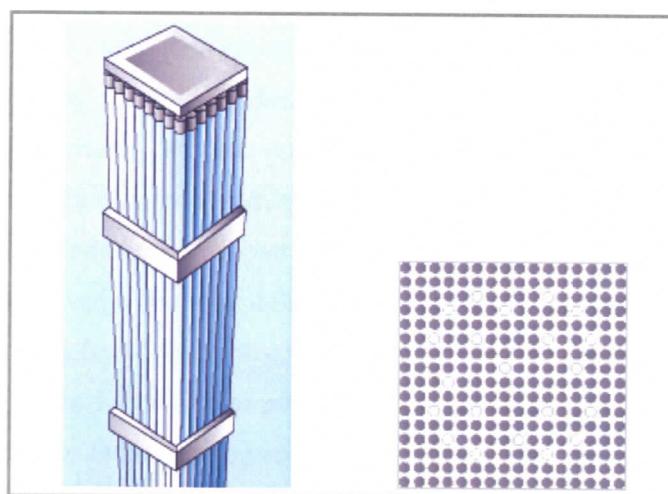
Izotopski i hemijski sastav goriva može varirati u određenim granicama. Izbor goriva je uglavnom uslovljen prethodnim izborom drugih karakteristika reaktora kao što su tip nuklearnih procesa, moderator, rashladni medijum itd. Tip goriva određuje, u prvom redu, vrsta fisibilnog izotopa koji se koristi, njegova koncentracija i konačno hemijska forma goriva. Od fisibilnih izotopa kao gorivo se koriste izotopi urana U-233 i U-235 i plutonijuma Pu-239. Koncentracija ovih izotopa u smeši istog elementa ili u smeši sa drugim elementima može da varira u širokim granicama. Hemijska forma goriva može biti oksid ili metal .

U komercijalnim tipovima reaktora kao gorivo se koristi smeša izotopa U-235 i U-238 u raznim koncentracijama. Ostali fisibilni izotopi, kao U-233 ili Pu- 239, koriste se u eksperimentalnim ili demonstracionim tipovima reaktora. U prirodi se nalazi samo izotop urana U-235, čija je

koncentracija 0,7% u prirodnom uranu. Prirodni uran koriste teškovodni reaktori i grafitni reaktori. Svi ostali tipovi reaktora zahtevaju obogaćeno gorivo tj. sadržaj U-235 veći od 0,7%.

Obogaćeni uranov heksafluorid prerađuje se u uranov dioksid u obliku praha, sabija u tablete i termički obrađuje. Tablete prečnika oko 8 mm i dužine 9,8 mm hermetički su zatvorene u cevima gorivnih šipki prečnika 9,5 mm.

Gorivne šipke duge su 3,85 m, a debљina je njihove košuljice približno 0,57 mm. Gorivna šipka napravljena je od cirkonijeve legure, metala koji ima dobra hemijsko-mehanička svojstva. Ima i vrlo dobre fizičke osobine i zadržava produkte cepanja. Prostor između košuljice i gorivnih tableta napunjen je helijumom, što onemogućuje deformaciju gorivnih šipki koja bi mogla nastati zbog pogonskih uslova u reaktoru.[5]



Slika11.Gorivna šipka

4.3. Tipovi reaktora

Postoji veliki broj različitih tipova reaktora , u zavisnosti od namene, snage ili načina kako su rešeni neki tehnički problemi.

Po nameni reaktori se dele na istraživačke (služe kao snažni izvori neutrona, za proizvodnju izotopa i u istraživačke svrhe, tako da im je snaga mala,od 1 do 10 MW) i energetske koji se prave do snage i preko 1000 MW i služe kao izvor toplotne energije koja se koristi za grejanje ili konvertovanje toplotne u električnu energiju.

Po načinu kako su raspoređeni uranijum i moderator mogu biti homogeni i nehomogeni.Kod homogenih reaktora,uranijum je ravnomerno raspoređen po celoj zapremini moderatora.Kod nehomogenih reaktora šipke od uranijuma se postavljaju u moderator. Samo gorivo može da bude od prirodnog ili obogaćenog uranijuma. Da bi se ostvario uvek jednak broj fisija, neophodno je održavati broj neutrona na konstantnoj vrednosti.Postoje materijali koji imaju veliki presek za zahvat termalnih

neutrona, kao na primer kadmijum. Količina kadmijuma, koja se kod heterogenih reaktora u obliku šipki postavlja ili vadi iz reaktora utiče na broj neutrona, pa se na taj način najlakše može kontrolisti broj fisijskih reakcija koji se ostvaruje u nekom vremenskom intervalu.

Prema načinu hlađenja dele se na: reaktore sa vodom pod pritiskom , reaktore sa ključalom vodom i reaktore sa visokom snagom kanalskog tipa (RBMK).

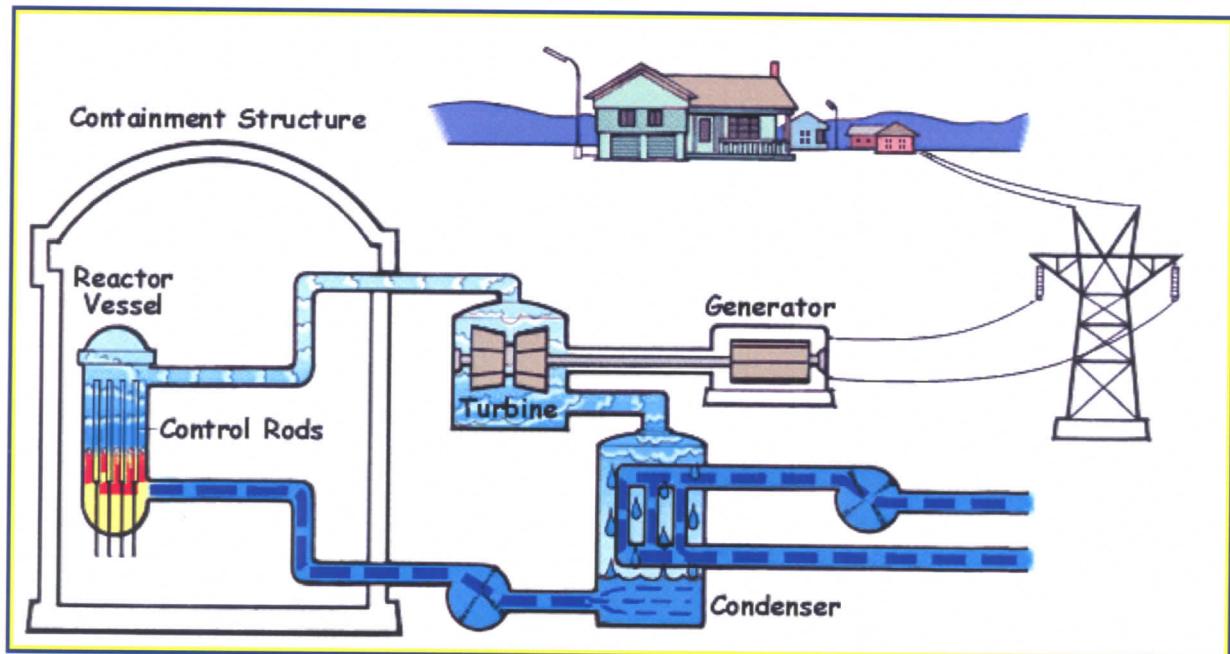
- *Reaktor sa vodom pod pritiskom* spada u drugu generaciju nuklearnih reaktora. Iz samog naziva proizilazi da se za hlađenje i moderiranje koristi voda pod visokim pritiskom. Primarni prsten elektrane je pod pritiskom. Ova vrsta reaktora je najrasprostranjeniji tip reaktora danas i koristi se širom sveta.Više od 230 reaktora se koristi za proizvodnju električne energije, a nekoliko stotina za podmorsko kretanje(nuklearne podmornice). Nesreća na ostrvu Tri Milje je vezana za ovaj tip reaktora.Voda primarnog prstena se zagreva uz pomoć energije oslobođene iz nuklearnog goriva,odnosno nuklearne lančane reakcije. Ugrejana voda se onda pumpama dovodi do parnog generatora , koji omogućava da se voda iz primarnog prstena dodatno zagreje i tako zagreva do tačke ključanja vodu sekundarnog prstena. Prednost ovog principa je što ne dolazi do mešanja vode primarnog i sekundarnog prstena , što kao posledicu može da ima prenos radioaktivnosti iz jezgra reaktora skroz do turbine. Za primarno hlađenje reaktora koristi se obična voda koja kruži reaktorom pri temperaturi od 315°C. Voda koja se koristi za hlađenje reaktora, takođe se koristi i za moderiranje neutrona. U procesu usporavanja neutrona dolazi do reakcija brzih neutrona sa atomima moderatora , odnosno sa vodonikom, pri čemu neutroni gube deo svoje energije i postaju termički. Verovatnoća ove reakcije između neutrona i vodonika se povećava sa povećanjem gustine vode. Ova karakteristika reaktora, da koriste vodu kao moderator je veoma važna sa stanovišta nuklearne bezbednosti , ukoliko dođe do povećanja temperature u reaktoru , dolazi do smanjivanja gustine vode kao moderatora, pri čemu je manja verovatnoća da dođe do termalizacije (usporavanja) brzih neutrona , čime se smanjuje reaktivnost u reaktoru. Prilikom ovog procesa dolazi do smanjivanja odnosno usporavanja lančane reakcije. Ovakva karakteristika se naziva negativni temperaturni koeficijent reaktivnosti, i čini ovaj tip reaktora veoma stabilnim i bezbednim.

Gorivo koje se koristi u reaktorima sa vodom pod pritiskom je obogaćeno sa nekoliko procenta uranijuma 235.. Zamena goriva u većini reaktora je nakon 18-24 meseca, gde se obično zamenjuje samo trećina goriva sa novim gorivnim elementima.

- *Kod reaktora sa ključalom vodom* moderator i rashladni medijum je obična voda. Obična voda, često destilovana, je fluid koji odvodi toplotu sa nuklearnog goriva. Ista ta voda se koristi i za hlađenje, odnosno usporavanje neutrona , kako bi se povećala verovatnoća da dođe do fisijskih reakcija na uranijumu , odnosno do nuklearne lančane reakcije.U poređenju sa reaktorima sa ključalom vodom, koji imaju dva kola odnosno prstena, reaktori sa ključalom vodom imaju samo jedan prsten. Ovde, voda ključa direktno u reaktoru , u samom jezgru, na temperaturi od oko 285 °C. Reaktor je dizajniran tako da može da radi sa vodenom parom.

Nedostatak ovih reaktora je pre svega mogućnost prenošenja radioaktivnosti iz jezgra reaktora na parnu turbinu. Zbog toga, turbina mora da bude veoma dobro zaštićena pomoću materijala koji su otporni na velike količine zračenja. Većina radionuklida koji su proizvedeni u vodi, a zatim preneseni na turbinu, imaju kratko vreme poluraspada, stoga turbina može nakon kratkog vremenskog intervala opet da bude uvedena u rad.

Moderni reaktori sa ključalom vodom koriste 74 do 100 gorivnih elemenata, koji čine 800 gorivnih šipki. Ukupno, to daje oko 140 tona uranijuma u aktivnoj zoni reaktora. Količina goriva i broj gorivnih elemenata zavise od energije koju želimo da proizvedemo i od veličine jezgra reaktora.



Slika 12. Šema reaktora sa ključalom vodom

- RBMK je skraćenica za ruski tip reaktora što u prevodu znači *nuklearni reaktor sa visokom snagom kanalnog tipa*. Ova vrsta reaktora spada u klasu reaktora koja je moderovana grafitom, a izgradnja ovih reaktora je bila samo u Sovjetskom Savezu. Reaktor u Černobiljskoj katastrofi je bio ovog tipa. Za ovaj tip reaktora karakteristično je da može da koristi prirođeni uranijum, s obzirom da je hlađen vodom i moderovan grafitom. Nažalost, konfiguracija ovih reaktora se pokazala kao veoma nestabilna i nesigurna.

Reaktor je sastavljen od 7 m dugačkih vertikalnih šipki pod pritiskom, koje prolaze kroz moderator i koje su hlađene vodom. Voda za hlađenje može da se zagreje do 290° C u jezgru reaktora, što je blizu temperaturama u reaktorima u kojima voda vri. Gorivo koristi nisko obogaćeni uranijum-oksid u obliku gorivnih šipki dugačkih 3.5 m. S obzirom na moderator od grafita, može lako da dođe do povećanja aktivnosti u reaktoru što za posledicu ima katastrofe velikih razmara, kao što je na primer Černobiljska katastrofa. U reaktoru zbog korišćenja obične vode za hlađenje, dolazi do

apsorpcije neutrona u jezgru reaktora. Zbog ovog efekta mora da se poveća koncentracija uranijuma 235 u reaktoru iznad kritičnog nivoa, kako bi se nuklearna lančana reakcija i dalje odigravala. Povećanje koncentracije uranijuma-235 naziva se obogaćivanje goriva.

Aktivna zona reaktora, tj. jezgro reaktora, može da ima i do 3000 gorivnih elemenata. Svaki element se sastoji od grupe gorivnih šipki, svaka ispunjena tabletama od uranijum-oksida. Prilikom nuklearne lančane reakcije, oslobođa se energija koja se dalje koristi za proizvodnju električne energije. Karakteristika RBMK reaktora je da se gorivo može zamenjivati i dok reaktor radi tj. za vreme proizvodnje električne energije.

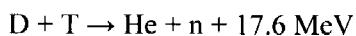
Nakon katastrofe u Černobilu, većina reaktora ovog tipa su trajno zatvoreni. Danas rade samo u Sankt Peterburgu, u Smolensku i Kursku [2].

5. Ciljevi nuklearne energetike-hladna fuzija

Dobijanje energije iz fisije i fuzije ostvareno je odmah posle Drugog svetskog rata, u destruktivne svrhe („atomska i hidrogenska bomba“) kroz nekontrolisano odvijanje fisionih odnosno fuzionih reakcija. U nuklearnim reaktorima uspelo je da se ostvari kontrolisana fisija što se pokušava i sa termonuklearnom reakcijom. Medijum u kome se to može ostvariti je plazma tj. četvrto stanje materije u kojem se, uostalom, u kosmosu nalazi 99.99% ukupne supstancije. U tom stanju se nalazi nama najbliža zvezda Sunce kao i ostale zvezde. Kao što je poznato, u klasičnim gorivima sintetizovano je energija dobijena iz Sunca preko energije kojom su se hranila živa bića na našoj planeti. Sa razvojem civilizacije potrošiće se rezerve tih klasičnih goriva brže nego što će se prirodnim putem nadoknađivati, zbog toga je bilo potrebno naći neki pouzdaniji izvor energije.

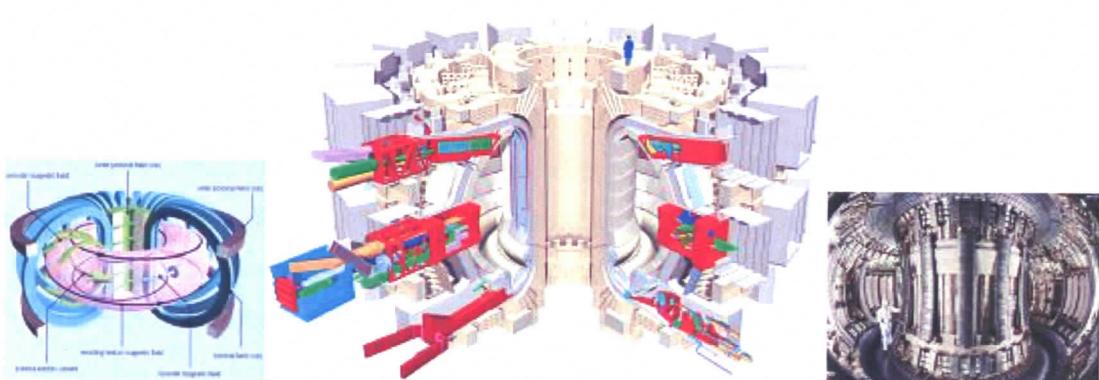
Nuklearne centrale su u jednom periodu odigrale značajnu ulogu, ali imajući u vidu ograničenost rezervi urana 235, a posebno skupoću postupka za obogaćivanje prirodnog urana, uranom 235 i opasnost od radioaktivnih ostataka eksploatisanih nuklearnih elektrana, nametnula se potreba iznalaženja pogodnjeg izvora energije. Izabran je put preko izrade fuzionih mašina u kojima bi se u plazmi kao medijumu kontrolisala fuzija lakih elemenata kao što su deuterijum i tricijum, deuterijum i helijum, vodonik i bor itd. Danas u svetu preovladava namera da se ukroti u laboratoriji termonuklerna fuzija za koju se smatra da je osnovni proces stvaranja energije na svim zvezdama.

Da bi se u plazmi mogli odvijati sudari koji dovode do fuzije lakih elemenata (npr. deuterijuma i tricijuma) potrebno ju je zagrejati na 100 000 000 K, kako bi se jezgra lakih čestica našla dovoljno blizu da bi se nasuprot sili odbijanja počela privlačiti. U tom privlačenju prvo se stvori jedno nestabilno jezgro posle koga se za slučaj deuterijuma i tricijuma stvori jedna α čestica i jedan neutron velike energije pri čemu se oslobodi energija od 17.6 MeV:



Ovakvu plazmu trebalo bi održavati na visokim temperaturama dovoljno dugo da bi se usled nuklearne fuzije oslobođilo više energije nego što se potroši. To bi omogućio uređaj koji bi bio fuzioni reaktor u kome bi se kao gorivo koristio deuterijum dobijen iz prirodne vode.

Plazma se u principu održava na tri načina : gravitacioni, magnetski i inercioni . U zvezdama se plazma održava gravitacionim poljem. U laboratorijskim uslovima plazma se održava magnetnim poljem ili inerciono. Kao najuspešniji uređaji za magnetno održavanje plazme pokazali su se tokamak, stelerator i inverzni pinč (tzv. zatvoreni sistemi), kao i magnetna ogledala i plazma fokusi (otvoreni sistemi). Najbolje rezultate dosada su dale razne vrste tokamaka.



Slika13. Modeli fuzionih uređaja

Kontrolisana termonuklearna fuzija (KTF) predstavlja jedan od najvećih izazova savremene nauke i tehnologije, jer kao potencijalni energetski izvor budućnosti , pruža osnovu za ekološki prihvatljivo, ekonomično, trajno i potpuno rešenje energetskih potreba naše civilizacije. Istraživanja vezana za fiziku visokotemperaturne plazme u uslovima bliskim KTF su danas okosnica angažovanja na planu ovladavanja energijom fuzije u magnetski ili inercijalno održavanim konfiguracijama.

Od prvih ideja Tama i Saharova (1960 .god.) o magnetnom održavanju i zagrevanju plazme teških izotopa vodonika do danas, istraživanja kontrolisane termonuklearne fuzije su prošla put novih saznanja i uspeha, ali i povremenih razočarenja. Na tom razvojnog putu izdvojila su se tri osnovna principa ostvarenja fuzije lakih atomskih jezgara u kontrolisanom obliku : magnetno održavanje plazme, inercijalno održavanje plazme i tzv. hladna fuzija

Najveći napredak je učinjen u oblasti magnetnog održavanja termonuklearne plazme, i to posebno u toroidalnim uređajima tipa tokamak.U prvoj deceniji (50-tih godina), istraživanja visokotemperaturske magnetno održavane plazme nisu pružala eksperimentalne osnove za razvoj postojećih uređaja u pravcu fuzionog reaktora. Značajan napredak u tom pravcu postignut je tek krajem 60-tih godina u Institutu Kurčatov u Moskvi na novom tipu uređaja sa zatvorenom magnetnom konfiguracijom koji je nazvan tokamak T-3. Po prvi put su na ovom uređaju dostignute temperature

plazme koje su samo red veličine niže od onih koje su neophodne za fuzioni reaktor. To je podstaklo tokom 70-tih izgradnju niza tokamaka u više zemalja (Evrope, SSSR, SAD, Japan i dr.). Poslednja decenija prošlog veka obeležava novu, u znatnoj meri odlučujuću fazu u razvoju fuzione energetike. To je decenija gradnje velikih tokamaka i intenzivne međunarodne saradnje na istraživanjima KTF. Dok se za prethodne eksperimente može reći da su poslužili dokazu koncepta KTF u magnetno održavanoj plazmi, od sadašnje generacije velikih tokamaka se očekuje dokaz naučne ostvarljivosti fuzije kao energetskog izvora odnosno ostvarenje uslova u kojima je odnos snage oslobođene u fuzionim reakcijama i snage dodatnog grejanja plazme jednak jedinici. [3]

6. Nuklearne elektrane i zaštita životne sredine

Radioaktivni otpad iz postrojenja nuklearne energetike sačinjavaju sve radioaktivne otpadne materije koje nastaju u procesima nuklearnog gorivnog ciklusa i tokom rada nuklearnih elektrana. Radioaktivni otpad koji nastaje tokom pogona nuklearnih elektrana potiče iz dva osnovna izvora: aktivacije materijala u reaktoru i fisija. Aktivacijski proizvodi nastaju aktivacijom neaktivnih izotopa gvožđa, nikla, bora i litijuma prolazom kroz jezgro reaktora. Deo fisijskih proizvoda dospeva u rashladni krug reaktora zbog propuštanja obloga gorivnih šipki. Među otpadnim radioaktivnim gasovima dominantnu ulogu imaju plemeniti gasovi, posebno izotop kriptona Kr-85. Izotop cezijuma Cs-137 fisijski je proizvod koji daje najveći doprinos radioaktivnosti reaktorskog rashladnog sredstva. Ostatak aktivnosti uglavnom je doprinos drugih aktivacijskih proizvoda i tricijuma.

Strategija rukovanja radioaktivnim otpadom u nuklearnoj elektrani svodi se u osnovi na sledeće: ispušta iz elektrane količina radioaktivnih materija u gasovitom i tečnom obliku do granice dopuštene propisima, uvažavajući pri tome načelo „toliko malo koliko je racionalno moguće postići“; i prerada preostalih radioaktivnih materijala u što koncentriraniji i što stabilniji oblik, poštujući pri tome dopuštene doze zračenja na površini spremnika koji te materije sadrže.

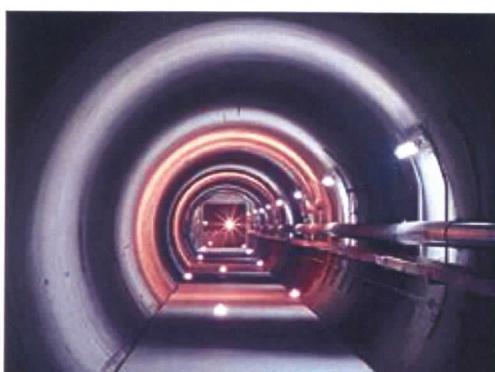
Čvrsti radioaktivni otpaci su otpadni materijali i alati tokom održavanja aktivnog dela postrojenja kao i radioaktivni materijali koncentrirani prilikom procesa prerade radioaktivnih tečnosti. Čvrsti otpad normalno se odlaže u bačve standardnih dimenzija (205 litara). Pretežni deo radioaktivnog otpada nastalog tokom pogona nuklearne elektrane spada u kategoriju srednjeaktivnog otpada. Istrošene izmjenjivače smole i filtri ulažu se u bačve u koje je sa unutrašnje strane ugrađen betonski biološki štit.

Visokoaktivni otpad izvor je ne samo radioaktivnog zračenja nego i toplotne energije. Zapremina čvrstog visokoaktivnog otpada po toni preradenog urana kod lakovodnih reaktora iznosi 70 do 80 litara. Iz toga se može izračunati, da preradu nuklearnog goriva potrebnog za proizvodnju 1.000MW električne energije u nuklearnoj elektrani s lakovodnim reaktorom prati stvaranje svega 2,5 do 3 m³ čvrstog viskoaktivnog otpada.



Osnovni problem koji se mora rešiti pri spremanju radioaktivnog otpada je dugoročna stabilnost skladišta radi onemogućenja kontakta radioaktivnih nuklida s životnom sredinom i podzemnim vodama. U načelu se primjenjuju dva tipa skladištenja radioaktivnog otpada: plitko (primjenjivo za niskoaktivni i srednjeaktivni otpad) i duboko (primjenjivo za sve vrste radioaktivnog otpada).

Kod plitkog odlaganja delovanje otpada se osigurava ulaganjem bačvi u armirane betonske posude i ispunjenjem prostora između bačvi betonom, čime se dobija monolitni betonski blok. Blokovi se ubacuju u široke rovove od nepropusne gline sa betonskom oblogom. Duboko skladištenje radioaktivnog otpada obavlja se u geološki stabilnim formacijama u granitu ili glini [8].



Slika14.Izgled skladišta za odlaganje radioaktivnog otpada

7. Rasprostranjenost nuklearnih elektrana u svetu

Prema podacima Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) u svetu je operativno 440 reaktora i oni svojom proizvodnjom pokrivaju preko 16% planetarnih potreba za električnom energijom. Trenutno se dugoročno gasi pet, ali i gradi 35 novih reaktora. Najviše ih ima u SAD 110, zatim u Francuskoj 59, na teritoriji bivšeg SSSR-a 46, u Japanu 54, Južnoj Koreji 21, Kanadi 17, koliko ima i u Nemačkoj. Ukupna svetska instalisana snaga nuklearnih centrala dovoljna je da zadovolji potrošnju električne energije skoro 50 država velikih poput Srbije. Pored izgradnje novih novih nuklearnih elektrana, za još 64 doneti su planovi i odluke o gradnji, a o slobodi 158 se odlučuje.

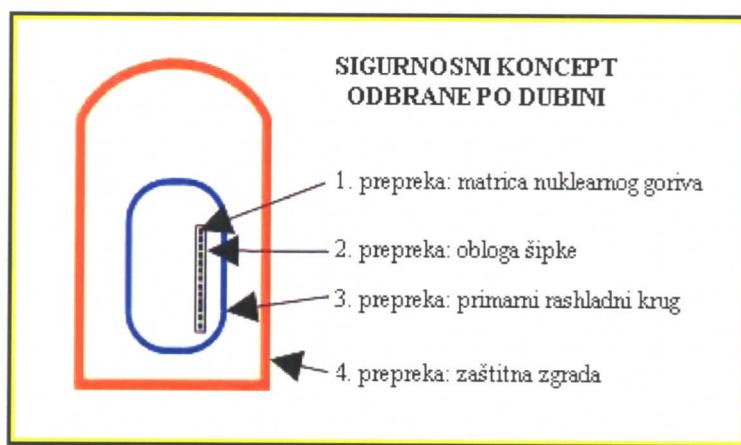
Nuklearne elektrane planiraju da grade Tajland, Malezija, Indonezija, a o tome se razmišlja i u naftom prebogatim arapskim emiratima u Persijskom zalivu. U SAD je prošao 20-godišnji moratorijum kada nuklearne elektrane nisu smeće biti ni u planovima, a američka Nuklearna kontrolna komisija (NRC) očekuje da primi 12 zahteva za gradnju novih nuklearnih reaktora na sedam različitih lokacija, a priprema se pregled planova za još 15 NE na 11 pozicija. Za Veliku Britaniju je nuklearna energija još 2003. godine bila „neprivlačna mogućnost“, a sada se o tome već ozbiljno govori. Rusija planira da do 2030. godine izgradi 42 nuklearna reaktora u kojima će proizvoditi električnu energiju, a slične planove ima i Kina. Kada se na internetu prostudiraju strane Svetske nuklearne asocijacije koje obuhvataju sve provođače nuklearne energije, ispada da će do 2050. godine trećina novih reaktora biti postavljena u Kini, 24 u Južnoj Americi i 21 u SAD. Ukupno, 2050. godine biće 700 nuklearnih reaktora u svetu! I našu zemlju okružuju nuklearne elektrane: ima ih u Mađarskoj, Bugarskoj, Rumuniji i Sloveniji. Trenutno je u funkciji devet reaktora, a grade se još dva. Slovenija najavljuje gradnju novog bloka reaktora, Bugarska takođe, u Albaniji se sve više razmišlja o tome, a čak je i kod nas najavljeno eventualno ukidanje moratorijuma na izgradnju nuklearnih elektrana. Kako prenose agencije, zbog povećane potrebe za energijom Slovenija do 2017. godine planira da izgradi novi blok reaktora u nuklearki „Krško“. U Bugarskoj nastaviće se gradnja nuklearne elektrane Belene. Izgradnja bi trebalo da počne ove godine, prvi reaktor bi mogao biti pušten u rad 2013. godine, a drugi godinu dana kasnije. I rumunska vlada razmatra mogućnost istovremene gradnje trećeg i četvrtog reaktora u njihovoј jedinoj nuklearnoj elektrani „Černa voda“, što praktično znači da postoji mogućnost da do 2012. godine Rumunija proizvodi čak 40 odsto energije iz ovog izvora. Iz susedne Hrvatske se čuju nezvanične najave da će narednih godina početi izgradnja jedne nuklearne elektrane, za sada još nije rečeno koje vrste i snage (spominju se lokacije na Jadranu ili na Dunavu).

8. Sigurnost nuklearnih elektrana. Poređenje sa ostalim tipovima elektrana

Nemoguće je proizvoditi energiju, uključivši sve faze od izgradnje, preko pogona i konačno do razgradnje energetskog objekta bez uticaja na okolinu i čoveka. U nuklearnim elektranama topotna se energija oslobađa fizijsama za koje nije potreban kiseonik. Kiseonik je potreban kod procesa sagorevanja - spajanja s kiseonikom - kod termoelektrana na fosilna goriva. Stoga je jedna od najvažnijih prednosti nuklearnih elektrana u odnosu na elektrane na fosilna goriva izostanak emisija velikih količina ugljenik-dioksida (gasa koji doprinosi zagrevanju Zemljine atmosfere), sumpor-dioksida (u atmosferi ga ima u obliku kisele kiše), oksida azota (izaziva nastanak kiselih kiša, stvaranje prizemnog ozona, razgradnju stratosferskog ozona), te ostalih čestica prisutnih u dimnim gasovima kao posledica procesa sagorevanja fosilnih goriva.

Kod korišćenja hidropotencijala negativan uticaj se vidi se kroz zauzimanje velike površine (akumulacije vode), promene ekosistema i vodenih tokova, preseljenje ljudi, promene mikroklima, gubitak biološke raznolikosti, postojanje rizika od pucanja brane (najčešći uzrok smrti vezan uz proizvodnju električne energije). Elektrane koje koriste obnovljive izvore energije karakteriše zauzeće velikih površina (sunčeve elektrane), promene ekosastava, buka (vetrenjače), opasne hemikalije (izrada fotonaponskih celija). Nuklearne elektrane mogu negativno uticati na okolinu ispuštanjima radioaktivnog materijala iz elektrane u slučaju nesreće a njihovim radom nastaje i radioaktivni otpad.

Sigurnost nuklearnih elektrana jedan je od najbitnijih uslova za njegovu prihvatljivost kao energetskog objekta. Osnovno načelo projektovanja nuklearne elektrane sa stanovišta sigurnosti je tzv. odbrana po dubini. Sastoji se u preduzimanju mera za očuvanje funkcija opreme i sastava za sigurnost nuklearne elektrane i to tako da oni u pogledu zaštite okoline deluju serijski, jedan iza drugog. Fizičke su barijere matrica nuklearnog goriva, obloga gorivnog elementa, primarni rashladni krug i zaštitna zgrada. Delotvornost navedenih barijera znatno bi bila umanjena kada ne bi postojali tehnički sastavi koji osiguravaju njihovu funkciju. To su sastav za zaštitno hlađenje jezgra reaktora i sastav za zaštitu zaštitne posude.



Slika 15.Šematski prikaz zaštite od zračenja

Najbitnije obavezne mere koje poduzimaju učesnici u projektovanju, gradnji i pogonu nuklearne elektrane radi poboljšanja delotvornosti zaštitnih barijera mogu se sažeti u sledećih nekoliko činjenica. Konzervativni projekt nuklearne elektrane određuje način njenog projektovanja uz velike rezerve i pesimističke pretpostavke.

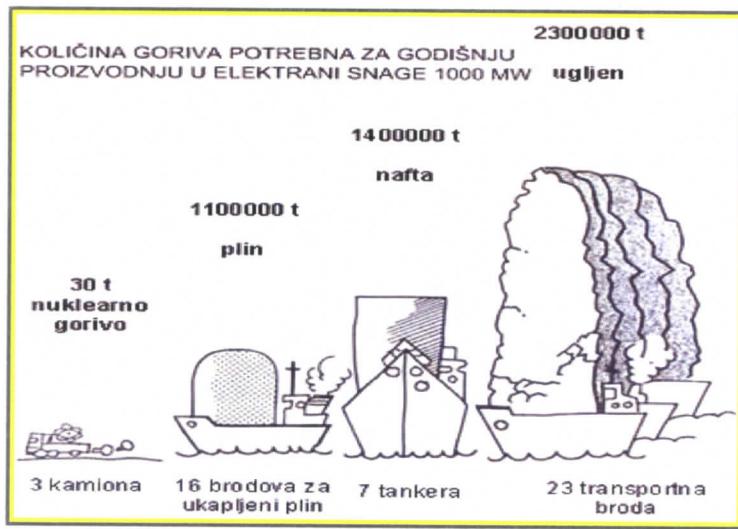
Sastavi i komponente u pravilu su višestruki. Građevinski objekti nuklearne elektrane se projektuju za pouzdanu izdržljivost na najnepovoljnije spoljašnje uticaje koji se mogu pojaviti na lokaciji elektrane (npr. seizmička aktivnost). Višestruki merni i regulacijski kanali trebaju osigurati nadzor i upravljanje i u uslovima otkaza pojedinih mernih i regulacijskih sastava. Posebno se to odnosi na sastav za obustavu pogona i odvođenje toplote iz reaktora. Sastav kontrole i osiguranja kvaliteta svodi na najmanju meru mogućnost pogrešaka u gradnji i pogonu elektrane, posebno onih koje bi mogle negativno uticati na sigurnost. Školovanje osoblja nuklearne elektrane ulazi takođe u kategoriju aktivnosti koje su povezane s nuklearnom sigurnošću. Delovanje sastava nuklearne elektrane stalno se prati, pri čemu se redovno i pravovremeno otklanjaju svi uočeni nedostaci i preventivno deluje da se uočeni nedostaci ne ponavljaju. Saznanje o veličini nekog rizika i odluka o njegovoj prihvatljivosti mora se zasnovati na usporedjenju tog rizika s ostalim rizicima kojim je čovek izložen. Rizik je definisan kao produkt verovatnoće nastanka neželjenog događaja i njegovih posledica. Iz tablice sledi da je rizik stanovništva koji žive u okolini nuklearnih elektrana neuporedivo manji zbog rada tih nuklearnih elektrana nego zbog drugih uzroka (posebno od automobilskih nesreća). Apsolutne sigurnosti nema. Opšti zaključci sveobuhvatne studije (*WASH-1400*) kojom su kvantificirani rizici zbog rada nuklearnih postrojenja daju se sažeti u sledeće konstatacije. Nesreće koje dovode do oštećenja jezgra bez gubitaka integriteta zaštitne zgrade vrlo malo utiču na okolinu. Rizici od reaktorskih nesreća kojima je izloženo stanovništvo manji su od rizika koji nastaju zbog drugih uzroka u svakodnevnom životu. Verovatnoća nastanka reaktorskih nesreća mnogo je manja od verovatnoće nastanka drugih nezgoda koje daju slične posledice.

Tabela 1.Odnos nezgoda i posledica po ljude

Vrsta nesreće	Rani smrtni slučajevi	Povrede
Automobilske nesreće	4 200	375 000
Padovi	1 500	75 000
Požari	560	22 000
Udari struje	90	?
Udari gromova	8	?
Pogon stotine nuklearnih reaktora	0,3	6

Nuklearna energija omogućuje da se izgrade energetska postrojenja čiji će uticaj na zdravlje ljudi i životnu sredinu biti osetno povoljniji od uticaja koje možemo postići upotrebo konvencionalnih (obnovljivih i neobnovljivih) izvora energije.

Nuklearne elektrane koriste znatno manje goriva nego elektrane koje koriste fosilna goriva. Na primer, jedna tona urana daje energiju koja je ekvivalentna energiji koja se dobije iz nekoliko miliona tona uglja ili nekoliko miliona barela nafte



Slika16. Zavisnost količine potrebnog goriva od vrste elektrane

Nuklearna energija trenutno se sve više spominje kao prihvatljivi izvor energije jer ne proizvodi nikakve gasove koji bi uticali na efekat staklene bašte i time ne zagreva planetu kao ostali neobnovljivi izvori energije. Građenje poverenja i povećavanje pouzdanosti korišćenja nuklearne energije vitalni su elementi za pridobijanje podrške u demokratskim društvima.

Nuklearna energija je sada vrlo siguran izvor energije jer su mere sigurnosti dovedene na maksimum i gotovo je nemoguće da se dogodi katastrofa slična Černobiljskoj.

Nuklearne elektrane zahtevaju mnogo manje površine za rad. Za 1000 MW elektranu zahtevi što se tiče površine su sledeći: nuklearna elektrana $1\text{-}4 \text{ km}^2$; fotovoltažni park $20\text{-}50 \text{ km}^2$; farma vetrenjača $50\text{-}150 \text{ km}^2$; biomasa $4.000\text{-}6.000 \text{ km}^2$ [12].

9. Nesreće u nuklearnim elektranama

Iako su nuklearne elektrane bezazlene za okolinu ukoliko se sve radi po pravilima , velika pretnja okolini je mogućnost katastrofe prilikom nepravilnog korišćenja. Do sada su se prilikom mirnodopskog iskorištavanja nuklearne energije desila dve velike havarije : Černobil i Otok Tri Milje.

Najveća havarija u nuklearnim elektranama dogodila se 26.04.1986.godine u Černobilu u tadašnjem SSSR-u, današnjoj Ukrajini. Černobilska elektrana nalazi se na oko 7 km od granice sa Belorusijom i oko 100km severno od glavnog grada Ukrajine, Kijeva, koji ima oko 3.1 miliona stanovnika. U noći 25. aprila 1986. eksplozija reaktora oslobođila je stotinu puta više radijacije nego atomske bombe bačene na Hirošimu i Nagasaki. Pored direktnog okruženja reaktora u krugu od oko 30 km, kontaminirani su i drugi regioni, naročito u Belorusiji, Rusiji i Ukrajini.



Slika17. Teritorija Evrope zahvaćena radioaktivnim oblakom iz Černobila

Eksplodirao je reaktor broj četiri u nuklearnoj elektrani formiravši radioaktivni oblak koji se proširio na veliki deo Evrope. Glavni uzrok nesreće je pre svega ljudski faktor odnosno loše upravljanje i nedovoljno iskustvo operatera na reaktoru.

Testom je trebalo da se utvrdi da li turbine mogu pri gašenju (u slučaju da ne postoji spoljno napajanje električnom energijom) da obezbede dovoljno energije kako bi se održao sistem hlađenja reaktora dok se ne uključe dizel agregati. Test je pre toga bio uspešno izveden , ali su rezultati bili ispod očekivanja. Turbine nisu obezbedile dovoljno energije za vodene pumpe sistema za hlađenje niti za ostale sigurnosne uređaje.

Dve snažne eksplozije su toga dana u rano jutro odjeknule u reaktoru broj četiri u nuklearnoj elektrani u Černobilu, stvorivši ogromne radioaktivne oblake. U četvrtom bloku černobilske nuklearne elektrane došlo je, prvo, do rastapanja gorivih elemenata, zatim do paljenje grafitnog moderatora, a posle toga do prskanje cevi za hlađenje. To je dovelo do stvaranja praskavog gasa i njegove hemijske eksplozije pri kojoj je, da zlo bude veće, na jezgro reaktora pao džinovski kran i raspolutio ga. Sve je to dovelo do erupcije ogromnih količina radioaktivnih materija u atmosferu. Cezijumom- 137 kontaminirana je površina od 3,9 miliona kvadratnih kilometara, odnosno oko 40 odsto površine Evrope. Plamen iz reaktora dizao se do visine od 1,5 km, noseći 10 puta više radioaktivnih materija nego što je bilo oslobođeno pri eksploziji atomske bombe u Hirošimi 1945. god. Radioaktivnom prašinom, pored teritorije bivšeg SSSR-a bila su izložene teritorija: Poljske, bivše SFRJ, Nemačke, Švedske, Švajcarske, Belgije, Holandije, Francuske, Velike Britanije, a zahvaćen je i istočni deo SAD. Radionukloidni materijal oslobođao se iz oštećenog reaktora uglavnom tokom

desetodnevnom periodu. Sa radiološke tačke gledišta, I-131 i Cs-137 bili su odgovorni za najveći deo ozračivanja stanovništva. Procenjeno je da je oslobođeno 1760 PBq I-131 i 85PBq Cs-137 (1 PBq=10¹⁵ Bq). Tri glavne oblasti kontaminacije bile su Belorusija, Ruska Federacija i Ukrajina.

Kontaminacija naše zemlje radioaktivnim elementima iz Černobila započeta je u poslepodnevnim časovima 29. aprila 1986. godine. Nakon havarije u Černobilju u našoj zemlji konstatovano je prisustvo sledećih radionuklida: Ru-103, Ru-106, Ru-131, I-131, I-132, Te-132, Cs-137, Cs-140, Ba-140, La-140 i drugi.

U Institutu u Vinči početkom maja mala grupa istraživača, koju su činili Nadežda Ajdačić i Miljenko Martić, ustanovila je dramatičan skok radioaktivnosti u padavinama. Ona je oko 14 miliona puta bila veća od uobičajenog prirodnog nivoa zračenja! Tu su se pored kratkoživećih nalazili i dugoživeći fisioni radioizotopi: stroncijum-90, cezijum-134, cezijum-137 i drugi koji se putem hrane i vode mogu uneti u organizam čoveka i ugroziti njegovo zdravlje.

Černobilska nesreća je do danas jedina nuklearna nesreća rangirana sa 7 na internacionalnoj skali nuklearnih događaja. Pored psiholoških efekata, značajni su i zdravstveni efekti nesreće. Od 600 radnika koji su bili prisutni u vreme nesreće, 134 je primilo visoke doze u intervalu 0.7-13 Gy i obolelo od radijacione bolesti. U periodu od nekoliko meseci nakon nesreće, 30 njih je umrlo. Nakon nesreće 200000 radnika koji su radili na njenom saniranju primilo je doze od 0.01 i 0.5 Gy. Od 1986., stanovništvo u okolnim oblastima izloženo je radijaciji deponovanih radionukloida.

Tabela2. Radionukleidi oslobođeni nakon havarije u Černobilu

Core inventory on 26 April 1986			Total release during the accident	
Nuclide	Half-life	Activity (PBq)*	Percent inventory	Activity (PBq)*
³³ Xe	5.3 d	6 500	100	6 500
¹³¹ I	8.0 d	3 200	50–60	~1 760
¹³⁴ Cs	2.0 y	180	20–40	~54
¹³⁷ Cs	30.0 y	280	20–40	~85
¹³² Te	78.0 h	2 700	25–60	~1150
⁸⁹ Sr	52.0 d	2 300	4–6	~115
⁹⁰ Sr	28.0 y	200	4–6	~10
¹⁴⁰ Ba	12.8 d	4 800	4–6	~240
⁹⁵ Zr	65.0 d	5 600	3.5	196
⁹⁹ Mo	67.0 h	4 800	>3.5	>168
¹⁰³ Ru	39.6 h	4 800	>3.5	>168
¹⁰⁶ Ru	1.0 y	2 100	>3.5	>73
¹⁴¹ Ce	33.0 d	5 600	3.5	196
¹⁴⁴ Ce	285.0 d	3 300	3.5	~196
²³⁹ Np	2.4 d	27 000	3.5	~95
²³⁸ Pu	86.0 y	1	3.5	0.035
²³⁹ Pu	24 400.0 y	0.85	3.5	0.03
²⁴⁰ Pu	6 580.0 y	1.2	3.5	0.042
²⁴¹ Pu	13.2 y	170	3.5	~6
²⁴² Cm	163.0 d	26	3.5	~0.9

* 1 PBq = 10¹⁵ Bq.

9.1. Načini na koji radioaktivne materije dospevaju u organizme živih bića

Radioaktivne materije u organizme živih bića dospevaju na više načina:

- Zagađenim vazduhom: inhalacijom odnosno udisanjem aerosolnih čestica, koje se rasejavaju u unutrašnje organe;
- Zagađenom vodom,
- zagađenom hranom,
- preko rane na telu i
- putem lanca ishrane.

Radionuklidi u vazduhu dospevaju prirodno iz vulkanskih pepela (što je retko u količinama koje bi izazvale veće posledice) i veštački, prilikom atomskih i nuklearnih eksplozija, havarija na atomskim uređajima (nuklearne elektrane) i dimovima, pri sagorevanju radioaktivnog materijala (prilikom topljenja ruda ili velikih količina uglja u termocentralama).

Radioaktivni materijali u vodu dospevaju taloženjem iz vazduha, spiranjem zagađenog tla,i ispuštanjem takvog materijala u vodotoke, hlađenjem nuklearnih reaktora rečnom vodom, slučajnim ispuštanjem, nemarnošću itd.

Tlo se radioaktivnim česticama zagađuje: iz vazduha taloženjem, naplavljavanjem zagađenom vodom, bacanjem radioaktivnog pepela i radioaktivnog otpada, i nekim veštačkim đubrivismiRadioaktivne materije u hranu mogu dopreti spolja, taloženjem, iz vazduha, pranjem zagađenom vodom ili korišćenjem već zagađenog materijala za pripremanje hrane [12].

Neki radioaktivni zraci imaju takvu prodornu moć da razbijaju atomska jezgra drugih elemenata menjajući osobine tog "bombardovanog" jezgra atoma. A kada se jednom atomu promeni osobina, odnosno struktura, to više nije atom tog prvobitnog elementa, već atom nekog drugog. Ako se to dogodi u jednom atomu, u sklopu molekula određenog jedinjenja, menjaće se i osobina molekula.Slikovitije, u normalnom organizmu javiće se neki drugi, nastao iz ćelije čije je svojstvo promenjeno „udarom“ radioaktivnog zraka. Takva ćelija, sa promenjenim osobinama, neće se više ponašati kao ostale u njenoj okolini i počeće nekontrolisano da se razmnožava stvarajući tkivo koje nema nikakve koristi za organizam. Takav bezobliči i „divlji“ organizam u normalnom organizmu, naziva se tumor.

Događa se da bude oštećen genetski molekul, pa će se pojava tumora ili degeneracije organizma ispoliti u narednoj ili nekoj kasnijoj generaciji.Inhalacijom, preko rane na koži ili u lancu ishrane radioaktivna čestica uneta u organizam kruži krvotokom, ili se negde zadrži. [Preuzeto je iz udžbenika Fizičko - hemijski osnovi zaštite životne sredine, knjiga druga , D. Marković i saradnici, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1998. god.]

Efekti zračenja pripisuju se citološkim promenama, jer je ćelija osnovna jedinica grade i funkcije svakog živog bića. Zračenje izaziva promene na membranama, u citoplazmi i u jedru. Najznačajnije promene u jedru su hromozomske aberacije, koje nastaju posle niskih doza zračenja. Te male doze zračenja, za najveći broj viših organizama, su letalne. Upravo, promene u jedru odgovorne su za izmenu funkcije ćelije, nastanak mutacija i, na kraju, za njenu smrt. Zračenje smanjuje koncentraciju enzima koji regulišu sintezu DNK. Kidanjem hromozoma nastaju simetrični i asimetrični fragmenti koji se rekombinuju naviše načina. Tako nastaju mutacije gena.

Veća oštećenja trpe tkiva i organi koji se intenzivno umnožavaju, a to su: krv, koštana srž i limfne žlezde. Veću osjetljivost na radioaktivno zračenje pokazuju mlađi organizmi, odojčad i mlađa deca razvoju. Biološki efekti zračenja ispoljavaju se dvojako: somatski i genetski efekti. Somatskiefekti mogu biti: akutni (molekularna smrt, sindrom CNS-a, gastrointestinalni sindrom, hematopoetski sindrom, radijaciona bolest i akutni radijacioni sindrom), pozni (kancerogeni efekat i skraćivanje životnog veka). Dugo poluvreme raspada uranijuma (4.5 milijardi godina) je povoljno za sadašnju i nekoliko narednih generacija. Povećanje broja osoba sa primetnim radioaktivnim oštećenjima, eventualno, se mogu ispoljiti posle sedam – osam generacija. Genetske efekte indukuju niske doze zračenja.

Dejstvo oslobođene radijacije prilikom havarije u Černobilu na živi svet i ljude bilo je fatalno. Životinje su prestale da se razmnožavaju, a kod onih koje nisu, pojavile su se razne genetske devijacije. Borova šuma, koja se prostirala na četiri kvadratna kilometra u blizini elektrane, posle eksplozije dobila je tamnosmeđu boju i uginula. Zbog boje dobila je naziv „crvena šuma“.

Prema zvaničnim procenama IAEA danas je na nivou višem od jednog kirija po kvadratnom kilometru cezijumom-137 zagađeno između 125 i 146 hiljada kvadratnih kilometara zemljišta, što je površina veličine Srbije, Crne gore i Makedonije zajedno. Kada je delovanje cezijuma- 137 u pitanju, on je podjednako štetan kao i svi ostali radioaktivni elementi. Cezijum-137 ne nalazi se prirodno na zemlji, nego je nastao nuklearnim reakcijama, a najviše u vreme kada se dogodila katastrofa u nuklearnoj elektrani Černobil (Ukrajina). Štetnost cezijuma, unetog u organizam u većim količinama, najviše se iskazuje delovanjem na genetski materijal, a mutacije ćelija mogu izazvati leukemiju i druga maligna oboljenja. Cezijum se, najviše deponuje u mišićima, pa najčešće izaziva tumore mišićnog tkiva. Potrebno je da prođe 30 godina da bi se količina cezijuma, koja se od tada nalazi na zemlji, upola smanjila. Pravilnikom o granicama radioaktivne kontaminacije životne sredine i načinu sprovođenja dekontaminacije iz 1999. propisano je da nivo radioaktivne kontaminacije hrane iz uvoza ne može biti veći od utvrđenog nivoa kontaminacije odgovarajućih domaćih proizvoda.

Evropske vlasti su, nakon katastrofe u Černobilu promenile pravilnik o radioaktivnosti hrane i povećale nivo radioaktivnosti. Žrtve radijacije su najčešće obolevale (ili obolevaju) od raka tiroidne žlezde,leukemije i drugih vrsta malignih oboljenja,kardiovaskularnih bolesti,katarakte, psihosomatskih bolesti i drugih. U deset godina nakon nesreće došlo je do značajnog porasta učestalosti raka štitne žlezde dece koja žive na kontaminiranim područjima bivšeg SSSR. Naučna i medicinska istraživanja

nisu otkrila porast broja ostalih vrsta karcinoma (leukemije), urođenih anomalija, prekida trudnoće, kao ni ostalih bolesti koje bi se mogle smatrati posledicom izloženosti ionizirajućem zračenju. Posledice i sada trpi više od 1,5 miliona ljudi koji žive u ozračenoj oblasti. Eksplozija u černobilskom reaktoru u noći između 25. i 26. aprila 1986. emitovala je 400 puta više radijacije nego atomska bomba bačena na Hirošimu. Nuklearni fizičar Vladimir Ajdačić kaže da je radijacija bila toliko jaka da je posle četiri nedelje stigla čak i do Amerike. Kada je radioaktivni oblak iz Černobila stigao do naše zemlje aktivnost joda-131 u vazduhu bila je oko $3\text{Bq}/\text{m}^3$.

Od bolesti disajnih organa, krvotoka i nervnog sistema obolelo je oko 70.000 ljudi u kontaminiranim zonama, a broj obolelih od raka štitne žlezde porastao je 10 puta od 1986 godine. Stručnjaci smatraju da je nivo radioaktivnog zagadenja toliko visok da će u toj zoni normalan život biti moguć tek posle 500 godina [10].

Sem katastrofe u černobiljskoj nuklearnoj elektrani, u poslednjih 50 godina bilo je par stotina drugih incidenata o kojima šira javnost malo ili nimalo zna.

Manje štetna za ljude i okolinu bila je havarija na Ostrvu Tri Milje 28.03.1979. godine u Pensilvaniji, SAD. Tamo se zbog niza grešaka i sigurnosnih propusta pregejao i delimično rastopio jedan od nuklearnih reaktora, što je rezultiralo manjim ispuštanjem radioaktivnih materija u atmosferu. Za sada još nije dokazana nikakva štetna posledica te radijacije za ljude, ali je taj događaj znatno uticao na predstavu o sigurnosti nuklearne energije.

Doza zračenja izvan elektrane tokom nesreće nije prelazila nivo koji bi ugrožavao lokalno stanovništvo. Rezultati brojnih zdravstvenih studija pokazali su da dugoročnih posledica po zdravlje stanovništva u okolini elektrane nema. U danima nakon nesreće bio je veliki interes medija za tu nezgodu, a borci protiv nuklearne energije konačno su dobili dobar razlog za veliku medijsku anti nuklearnu kampanju .

Čovek je stalno izložen zračenju koje potiče od prirodnih radioaktivnih elemenata iz vazduha, vode, zemlje, kosmosa, ali i iz samog organizma.

Tabela 3. Dozvoljene ekvivalentne doze zračenja za različite organe

Organi	Ekvivalentna doza zračenja (mSv/god)
Oči, koštana srž, polni organi	5
Ostali organi pojedinačno po	15
Koža, kosti, štitna žlezda	30
Ruke i noge	75

Za profesionalno osoblje dozvoljene doze su deset puta veće. Uticaj primljenih doza na organizam zavisi od veličine primljene doze. Doze veće od 10000 mSv primljene po celom telu izazivaju sigurnu smrt, a doza od oko 4000 mSv izaziva smrt u 50% slučajeva. Ako čovek primi dozu od 1000 mSv on se oporavlja za nekoliko nedelja, a pri dozama od 500 mSv primećuju se promene u

krvnoj slici. Ovo su kratkoročne posledice, dok npr. doze veće od 1000 mSv, naknadno, tokom više godina mogu uzrokovati oboljenja, genetske promene i smrt. [10]

10. Stanje u Republici Srbiji

Prva prepreka gradnji nuklearnih elektrana u Srbiji je takozvani „moratorijum“ koji je donet posle tragedije u Černobilu. Reč je o Zakonu o zabrani izgradnje nuklearnih elektrana koji je u junu 1989. godine usvojila Skupština SFRJ, a koji je još uvek na snazi u Srbiji.

Trenutno je u Skupštini predlog zakona pod nazivom **ZAKON O ZAŠТИTI OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA I O NUKLEARNOJ SIGURNOSTI**, gde jasno piše da je gradnja zabranjena drugim zakonom.

U okruženju Srbije u prečniku od 600 kilometara nalaze se nuklearne elektrane „Krško“ u Sloveniji, „Kozloduj“ u Bugarskoj, „Pakš“ u Mađarskoj i „Černa voda“ u Rumuniji. Neki od reaktora u ovim elektranama su u kvaru. Srbija ima sistem za najavu, ali ne i pravilnik za postupanje u slučaju nuklearne havarije. Mada Srbija ima najmoderniji sistem za najavu nuklearnog akcidenta u celoj Evropi, ne postoji pravilnik o postupanju u slučaju povećane koncentracije radioaktivnih materija u vazduhu! Iako se vlasti u Srbiji protive gradnji nuklearnih elektrana, Hrvati planiraju da je u bliskoj budućnosti podignu kod Erduta, skoro na samoj granici sa Srbijom, a Mađari u Pečuju. Odluka o ovim lokacijama još nije definitivna, ali jeste o izgradnji nove nuklearne elektrane „Belene“ u blizini „Kozloduja“ u Bugarskoj. Na oko sto kilometara od naše granice već se nalaze dve nuklearne elektrane - „Kozloduj“ na bugarsko - rumunskoj granici i „Pakš“ u Mađarskoj, a malo dalje, na obali Crnog mora u Rumuniji, radi „Černa voda“, dok je na slovenačko - hrvatskoj granici „Krško“. Ako susedne zemlje ne promene odluku o lokacijama blizu granica, otvara se pitanje da li Srbija može da spreči podizanje nuklearnih elektrana .

U Ministarstvu nauke i zaštite životne sredine kažu da zasad raspolažu samo informacijama iz hrvatskih medija o izgradnji nuklearne elektrane i pritom se pominje ne samo jedna već četiri lokacije i da još kod njih nije stigla informacija o gradnji nuklearne elektrane. Što se tiče Erduta, kao pogranične lokacije koja se pominje, stav Ministarstva je da je gradnja nuklearne elektrane u pograničnoj zoni pitanje o kome bi trebalo bi da budemo konsultovani.

Kada je reč o gradnji nuklearnih elektrana u Srbiji, u Ministarstvu nauke i zaštite životne sredine kažu da podržavaju stav Ministarstva energetike da nije predviđena gradnja ovakvih postrojenja u našoj zemlji, i podsećaju na Zakon o zabrani izgradnje nuklearnih elektrana u Saveznoj Republici Jugoslaviji i Strategiju razvoja energetike do 2015. godine, gde zakon zabranjuje izgradnju, a strategija razvoja je i ne planira u neko dogledno vreme . Ugovor o Energetskoj zajednici u jugoistočnoj Evropi predviđa da se elektrane u regionu grade zajednički u više zemalja. To bi možda

mogao biti osnov da Srbija, ako već ne može da spreči gradnju opasnih elektrana, razmišlja o suinvestiranju kako bi dobila i deo struje, posebno kada se zna da će zbog manjka imati problema 2010. godine. U Ministarstvu energetike kažu da do sada nisu dobili zvaničan poziv za zajedničku gradnju , ali i da ne planiraju takve investicije.

U ministarstvu za zaštitu životne sredine kažu da bi zbog savremenog sistema najave građani Srbije na vreme bili obavešteni o bilo kakvoj eventualnoj opasnosti i da u Srbiji „nije bilo nikakvih prekomernih očitavanja“. Jedini mogu da nam pariraju Francuzi, ali Francuska dobija izveštaj na svaka dva sata, a mi na pola sata. Zbog postojanja nuklearnih objekata u našem okruženju (Kozloduj, Krško i Pakš), koji bi mogli svojom emisijom ugroziti našu teritoriju, kao i zbog lokalne mogućnosti kontaminacije, organizovan je kontinuirani monitoring radioaktivnosti životne sredine. Ovlašćene kuće za monitoring na nivou države jesu Institut „Dragiša Karajović“, Institut „Vinča“ i Departman za fiziku PMF-a u Novom Sadu.



Slika18. Nuklearne elektrane u našem susedstvu

Građani Srbije bili bi na vreme obavešteni o eventualnim opasnostima, ali ne postoji procedura za postupanje u slučaju povećanje količine radioaktivnih materija jer zakon o zaštiti od ionizujućeg zračenja dve godine „čeka“ na usvajanje u Skupštini Srbije.

Predsednik Regulatorne komisije za radijacionu i nuklearnu sigurnost dr Ištvan Bikit kaže da je postavljeno devet mernih aparata u većim mestima u Srbiji i da su precizni podaci o nivou ionizujućeg zračenja objedinjeni u centralnom sistemu. U slučaju veće nuklearne havarije u okruženju, ne postoji propisan postupak ponašanja. Zakon treba da osnuje agenciju za zaštitu od ove vrste zračenja, a ona

dalje propisuje mere pripravnosti. Ipak, ako bi se sada alarmi oglasili, direktno bi reagovala država. To znači da bi određene mere preduzimali Ministarstvo nauke i Ministarstvo za zaštitu životne sredine[9].

11. Zaključak

Nuklearne elektrane danas snabdevaju oko 11% od ukupnih svetskih potreba u energiji. Proizvode ogromne količine energije iz male količine goriva, bez zagađenja koje se stvara proizvodnjom energije od fosilnih goriva.

Prednosti:

- nuklearna energija košta isto kao ona dobijena sagorevanjem uglja, tj. proizvodnja nije skupa,
- ne ispušta dim ili ugljen-dioksid, tako da ne doprinosi efektu staklene baštice,
- proizvodi ogromne količine energije iz male količine goriva,
- stvara male količine otpadnog materijala i
- nuklearna energija je pouzdana.

Nepovoljni aspekti proizvodnje nuklearne energije:

- premda se tokom proizvodnje stvara malo otpada on je veoma opasan. Radioaktivni otpad se hermetički zatvara i zakopava, a potrebne su godine da iz njega nestane radioaktivnosti;
- nuklearna energija je pouzdana, ali se mnogo novca troši na sigurnost, ako sve kreće kako ne treba, nuklearni akcident može da bude veliki problem. Ovo puno zabrinjava ljudе, u 1990-tim, nuklearna energija je bila najbrže rastući izvor energije u većem delu sveta. Nuklearna energija se stvara iz uranijuma koji nije obnovljiv.

Nuklearne elektrane nisu izbor već neminovnost, tvrde stručnjaci koji smatraju da će bez njih struji u budućnosti morati da bude mnogo skuplja nego danas. Iako nema svoju nuklearnu elektranu, naša zemlja je praktično opasana njima u okolnim državama.

Ako bi u nuklearnim elektranama blizu gradova Pakš ili Kozloduj došlo do nesreće, sličnim onoj u Černobilu 1986. godine, posledice u Srbiji bile bi slične onim u okolnim gradovima ovog ukrajinskog grada - katastrofalne. U pogledu opasnosti, naša zemlja kao da već ima nuklearnu elektranu, pa se javljaju mišljenja da bi trebalo razmišljati o ukidanju zabrane gradnje nuklearnih elektrana uvedene 1989. godine.

Ipak, dilema graditi nuklearne elektrane ili ne, je verovatno, pogrešno postavljena. Kada se ta energija pominje u modernom svetu, razmišlja se krajnje racionalno: kako da se obezbedi dovoljno energije za budućnost? Da li je naša javnost spremna da odgovori na pitanje? Za početak trebalo bi se, možda, zapitati kako to da je zemlja koja jedina u svetu zna šta znači nuklearna katastrofa treća po broju nuklearnih elektrana u svetu.

Koliko je nebitna dilema nuklearne elektrane ili ne govori podatak da u prečniku od 100 kilometara oko Srbije radi deset, a u prečniku od 400 kilometara 20 nukleranih elektrana. „Pakš“ je na Dunavu, u blizini srpsko-madarske granice; „Kozloduj“ je na istoj reci istočno od granice sa Bugarskom; „Černa voda“ istočno od Bukurešta, a „Krško“ na hrvatsko - slovenačkoj granici. Nuklearnih elektrana ima i u Mađarskoj, Slovačkoj, ali i u Finskoj i Švedskoj, zemljama koje su poput Srbije uvele moratorijum na gradnju nuklearnih elektrana.

Nuklearna energija ima tri prednosti - najjeftinija je, izaziva najmanje ekoloških problema i ima najviše sirovina. U 30 država u svetu postoji ukupno 439 nuklearna reaktora (SAD 104, Francuska 59, Japan 55, Rusija 31), a trenutno se grade još 32 u 12 država, od čega u Bugarskoj i Ukrajini po dve. S obzirom na ove podatke može se videti da je ova vrsta energije prisutna u svetu i da je njena upotreba zapravo odgovor na pitanje da li je neka država moderna ili ne. Pitanje je, ipak, kompleksno, pa o njemu svi treba da razmišljaju: političari, ekonomisti, privrednici, građani, a naravno i stručnjaci.

U proizvodnji nuklearne energije su potrebna nova istraživanja i napor u razvoju novih tehnologija kako bi mogle da u budućnosti odgovore na bilo koji od ova tri scenarija. Budućnost je nepoznata uprkos raznoraznim nagađanjima ali sadašnje generacije moraju da obezbede dovoljnu fleksibilnost kako bi buduće generacije mogle da reaguju u bilo kom spletu okolnosti.

U ovom trenutku postoje jasni znaci da se nuklearna energija vraća na internacionalnu scenu, ovaj put kao odgovor na klimatske promene. Da bi nuklearna energija bila prihvatljiva i za buduće generacije novim tehnologijama i rešenjima treba da postane prihvatljiva za javno mnjenje, donosioce odluka, da je ekonomična, da ima prihvatljiv način otklanjanja nuklearnog otpada i novi razvoj nuklearnih reaktora koji bi bili mnogo bezbedniji i dizajnirani tako da reše probleme nedostatka uranijuma kao nuklearnog goriva [9].

Literatura :

- (1) Dr Miodrag Krmar - *Skripta iz Nuklearne fizike za studente fizike*,2007.
- (2) ,M.V.Mataušek - *Energetski reaktori*, Institut za nuklearne nauke „Boris Kidrič“ Vinča, Beograd, 1980.
- (3) *Zajednički centar za istraživanje*, Beograd, 1990.
- (4) *Radioactivity, Radionukleids, Radiation*, -Springer-Verlag, Berlin, Heidellerag and European Communities, 2005.

Internet:

- (5) www.our-energy.com/hr/nuklearna_energija.html
- (6) www.zastita.com.hr/content/view/1883/150
- (7) <http://eskola.hfd.hr.fiz>
- (8) <http://www.MojaEnergija.hr/index.php/me/knjiznica>
- (9) www.planeta.org
- (10) <http://b92.net/biz/vesti/svet>
- (11) <http://sr.wikipedia.org/wiki/>
- (12) www.bdzuver.wordpress.com/2006/10/14/tokamak

BIOGRAFIJA

Stojsavljević M. Slađana rođena je 23.11.1955.godine u Leskovcu.Završila je Pedagošku akademiju u Skoplju grupa fizika-hemija. Radi u osnovnoj školi kao nastavnik fizike.



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

TD

Vrsta rada:

VR

Autor:

AU

Mentor:

MN

Naslov rada:

NR

Jezik publikacije:

JP

Jezik izvoda:

JL

Zemlja publikovanja:

ZP

Uže geografsko područje:

UGP

Godina:

GO

Izdavač:

IZ

Mesto i adresa:

MA

Fizički opis rada:

FO

Naučna oblast:

NO

Naučna disciplina:

ND

Predmetna odrednica/ključne reči:

PO

UDK

Čuva se:

ČU

Važna napomena:

VN

Izvod:

IZ

Datum prihvatanja teme od NN veća:

DP

Datum odbrane:

25.12.2008

DO

Članovi komisije:

KO

Predsednik:

Prof.dr Božidar Vujičić

član:

Doc.dr Olivera Klisurić

član:

Doc.dr Nataša Todorović

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

DT

Type of record:

TR

Content code:

CC

Author:

AU

Mentor/comentor:

MN

Title:

TI

Language of text:

LT

Language of abstract:

LA

Country of publication:

CP

Locality of publication:

LP

Publication year:

PY

Publisher:

PU

Publication place:

PP

Physical description:

PD

Scientific field:

SF

Scientific discipline:

SD

Subject/Key words:

SKW

UC

Holding data:

HD

Note:

N

Abstract:

AB

Accepted by the Scientific Board:

ASB

Defended on:

DE

Thesis defend board:

DB

President:

Member:

Member:

Monograph publication

Textual printed material

Final paper

Sladjana Stojavljevic

PhD Natasa Todorovic

Nuclear power plants-Environmental impact

Serbian(Latin)

English

Serbia

Vojvodina

2008

Author's reprint

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

11/45/1/3/18/0/1/

Phisics

Nuclear physics, Environmental science

Nuclear reactions, fission, nuclear reactors, radiation

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovica 4, Novi Sad

None

Nuclear processes and nuclear reactors have been described in the context of (nuclear) energy production, considering environmental consequences and possible hazard prevention measures.

10.12.2008.

25.12.2008.

PhD Bozidar Vujicic

PhD Olivera Klisuric

PhD Natasa Todorovic

