

SEMINARSKA NALOGA

KAZALO:

1.0	Uvod.....	1
2.0	Delovanje jedrske elektrarne.....	2
3.0	Uran.....	3
3.1	Obogatitev urana.....	3
4.0	Jedrska reakcija-cepitev.....	4
5.0	Jedrski reaktorji.....	5
5.1	Termični reaktorji.....	5
5.1.1	Tlačnovodni reaktor.....	6
5.1.2	Vrelni reaktor.....	8
5.1.3	Plinsko hlajeni reaktor.....	9
5.1.4	Težkovodni reaktor.....	10
5.1.5	Vodno hlajeni, grafitno moderirani reaktor.....	10
5.2	Oplojni reaktorji.....	11
6.0	Prisotnost posameznih turbin po svetu.....	12
7.0	Jedrske elektrarne po svetu.....	13
7.1	Jedrske elektrarne v Evropi.....	13
7.2	Jedrske elektrarne v Ameriki.....	14
7.3	Jedrske elektrarne v Aziji in Afriki.....	15
8.0	Delež jedrske energije v skupni proizvodnji elektrike.....	16
9.0	Moč in število reaktorjev v jedrskih elektrarnah.....	17
10.0	Svetovna poraba energije.....	17
10.1	Najmočnejša jedrska elektrarna.....	18
11.0	Splošni podatki o jedrskih elektrarnah po svetu.....	18
12.0	Nuklearna elektrarna Krško (NEK).....	19
12.1	Opis lokacije NEK.....	20
12.1.1	Meteorologija in hidrologija.....	20
12.1.2	Geologija in seizmologija.....	20
12.2	Načela za projektiranje NEK.....	21
12.3	Pomembnejši datumi NEK.....	21
12.4	Razporeditev objektov v NEK.....	22
12.5	Reaktorska zgradba.....	23
12.6	Reaktorska posoda.....	23
12.7	Gorivni sveženj.....	25
12.8	Regulacijske palice.....	25
12.9	Hladilni zanki.....	26
12.10	Instrumentacija in regulacija.....	28
12.11	Turbina in agregat.....	29
12.12	Shema elektrarne.....	31
12.13	Enopolna shema.....	32
12.14	NEK Remont.....	32
12.15	Tehnični podatki.....	33
13.0	Proizvodnja elektrike v Sloveniji.....	35
14.0	Radioaktivnost.....	36
14.1	Sevanje okolja.....	37
15.0	Vpliv na okolje.....	37
15.1	Merjenje radioaktivnosti.....	38
16.0	Radioaktivni odpadki.....	39
16.1	Skladišča radioaktivnih odpadkov v Sloveniji.....	41
16.2	Centralno skladišče za RAO odpadke v Sloveniji.....	42

17.0	Odlaganje izrabljenega jedrskega goriva.....	43
18.0	Nesreče v jedrskih elektrarnah.....	45
19.0	Zaključek.....	46
20.0	Viri.....	47

1.0 UVOD:

Jedrska energija predstavlja pomembni del proizvodnje energije v svetu. V največji meri je uporabljena za proizvodnjo električne energije, nekaj pa se je tudi uporablja za pogon plovil (podmornice, ladje). V letu 2004 je bil npr. delež jedrske energije v svetu, kot vir primarne energije za proizvodnjo električne energije, 17%. V proizvodnji električne energije je na drugem mestu, takoj za premogom.

Jedrska energija se pridobiva iz vezalne energije atomov v jedru kemijskih elementov. Za pridobivanje te energije sta možna dva procesa:

- *cepitev jeder (fizija)* in
- *spajanje ali zlivanje jeder (fuzija)*

Skupna masa se po končani jedrski reakciji zmanjša (pri cepitvi in pri spajanju); del mase se spremeni v energijo po znani Einsteinovi enačbi:

$$E=mc^2$$

približno 90 odstotkov te energije se spremeni v kinetično energijo, 10 odstotkov pa v sevanje.

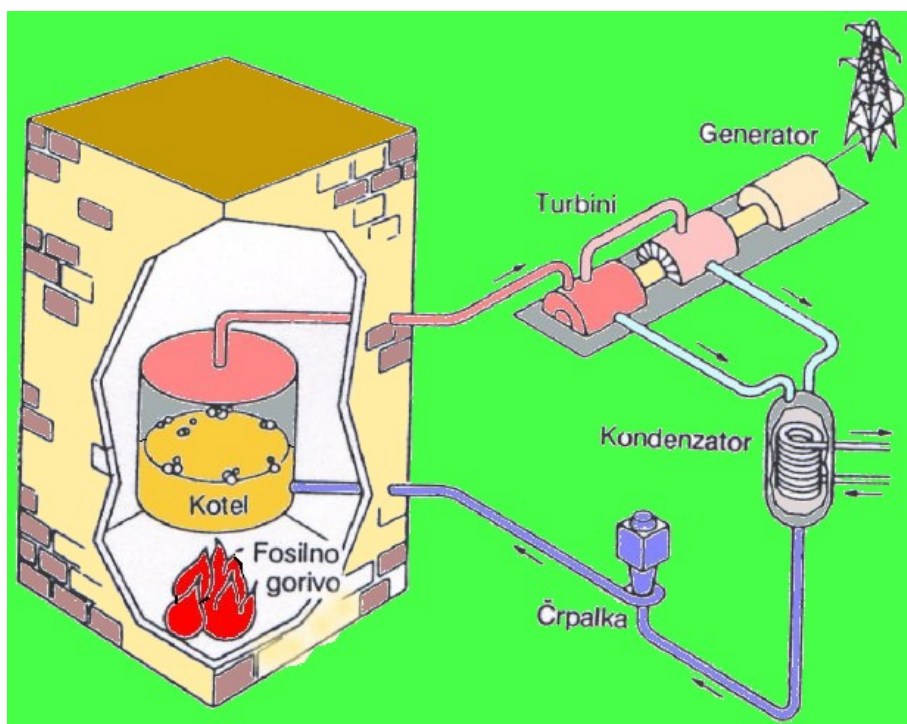
Z dosedanjim znanjem lahko v praksi uporabljamo je prvi proces, to je cepitev jeder. Pri zlivanju jeder je potrebna zelo visoka temperatura (vsaj 100 mio. K), zato je ta čas skoraj nemogoče zagotoviti pogoje za tako reakcijo.

Potrebno je še poudariti, da jedrske elektrarne med obratovanjem ne proizvedejo ogljikovega dioksida (kot termoelektrarne) in tako skoraj nič ne vplivajo na okolje.

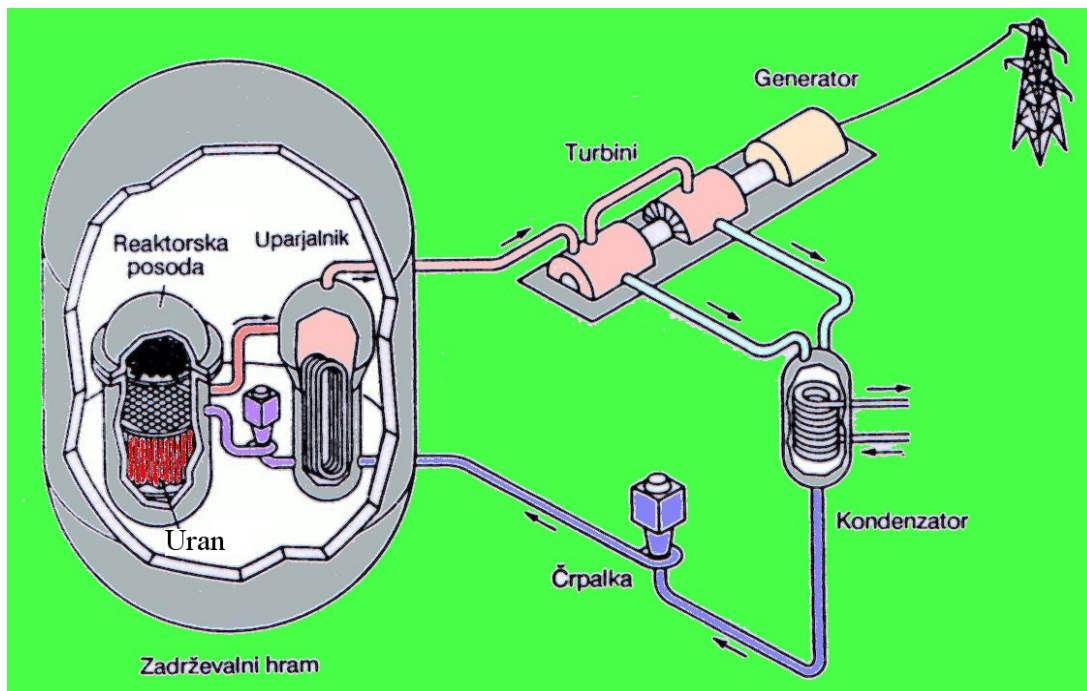
2.0 DELOVANJE JEDRSKE ELEKTRARNE:

Termoelektrarne so naprave za pretvarjanje toplotne energije v električno. V parnem kotlu izgoreva gorivo, nastala toplota uparja vodo. Paro vodijo naprej v visokotlačni in nato v nizkotlačni del turbine. Turbina pa poganja električni generator, ki pretvarja energijo pare v električno energijo. Iz turbine gre para v kondenzator, kjer se vkaplji. Kondenzator hladijo s hladilno vodo, ki jo črpajo iz reke. Za hlajenje lahko uporabljamo tudi hladilni stolp. Kondenzirano paro črpa napajalna črpalka nazaj v kotel.

Jedrska elektrarna deluje podobno kot termoelektrarna, le izvir toplote ni gorenje premoga ali plina, temveč toplota iz jedrskega goriva (cepitev urana ali plutonija). To gorivo je spravljeno v sredici reaktorja, ki jo obdaja tlačna posoda. Skozi sredico kroži hladilo (voda), ki prenaša sproščeno toploto preko uparjalnika na parni sistem (tlačnovodni reaktor), ali pa se v reaktorju uparja in nastala para direktno poganja turbino (vrelni reaktor). Sredica, tlačna posoda in naprave v tlačni posodi torej sestavljajo reaktor, ki je najbolj značilen del jedrske elektrarne.



Slika 1: Delovanje termoelektrarne



Slika 2: Delovanje jedrske elektrarne

3.0 URAN:

Element uran je zadnji v periodnem sistemu. Je sivo- bela kovina s specifično težo 18,95. V zemeljski skorji ga je nekaj milijonink.

Uran je dobil poseben pomen po odkritju cepitve jedra uranovega izotopa 235, kar omogoča pridobivanje energije.

Pri pridelavi uranove rude izkoriščajo veliko topnost urana v kislih in karbonatnih medijih, kar je osnova za hidrometarulško predelavo rude v vodi. V rudniku pridobivajo koncentrat urana "rumeni kolač".

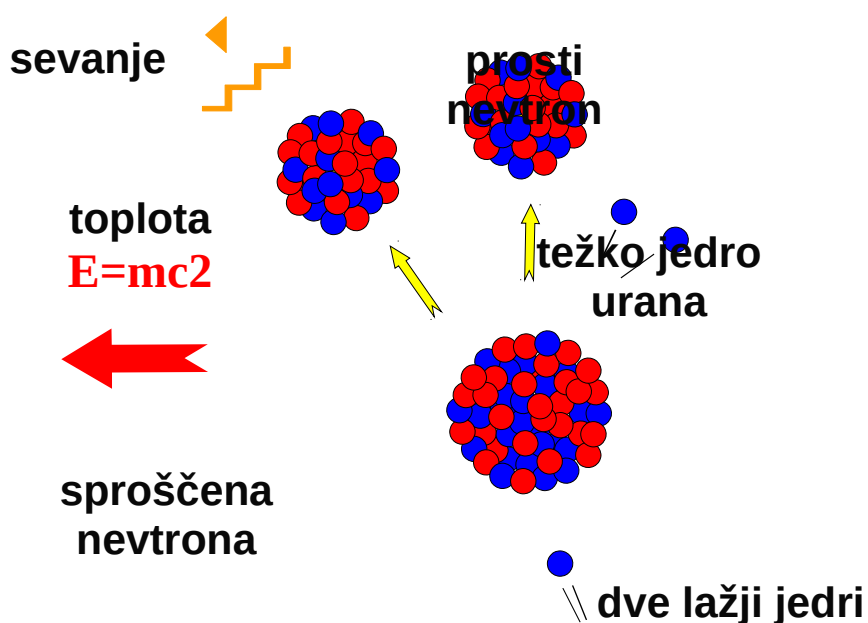
3.1 OBOGATITEV URANA:

Lahkovodne jedrske elektrarne uporabljajo gorivo, ki vsebuje 2 do 4% urana-235. V naravnem uranu pa je tega izotopa le 0,7%, zato je treba uran obogatiti. V ta namen največ uporabljamo plinsko difuzijo (lažje molekule difundira skozi membrano hitreje kot težje) ali plinske centrifuge, kjer se ob vrtenju plina UF_6 težje molekule nabirajo ob stene, lažje pa v sredini centrifuge.

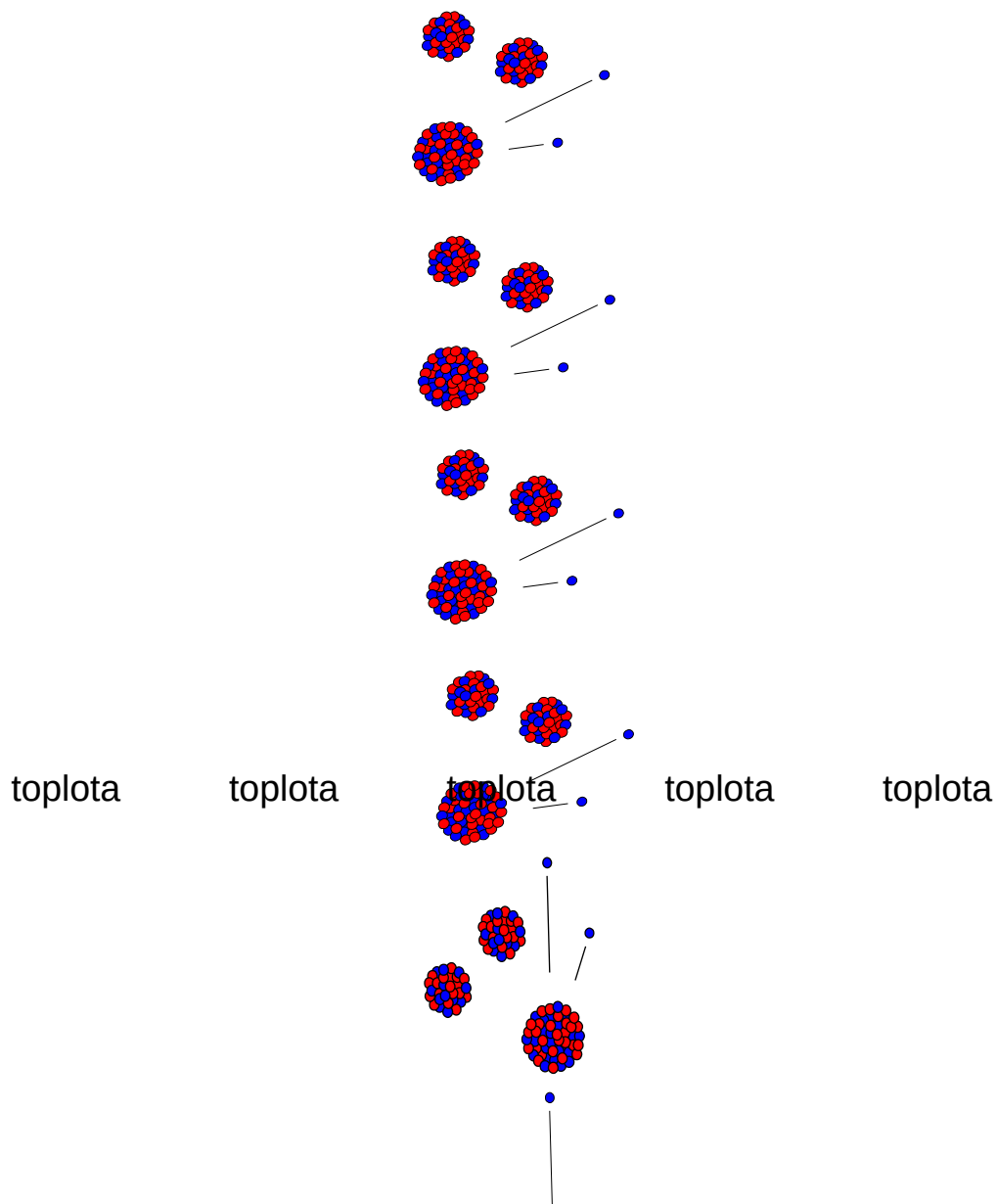
4.0 JEDRSKA REAKCIJA- CEPITEV

Atomi so sestavljeni iz jedra in elektronov, v jedru pa so protoni in nevtroni. Atomi določenega elementa imajo lahko v jedru različno število nevtronov: to so izstopi elementa, ki se ločujejo po fizikalnih lastnostih. Uran ima dva najpomembnejša izstopa: uran 235 in uran 238.

Elementi, ki se cepijo ob zajetju nevtronov, so uran 233, uran 235 in plutonij. Ob cepitvi enega jedra se rodijo dva ali trije nevtroni, ki sprožijo nove cepitve. Ob cepitvi se sproži 200 MeV energije, kar pomeni, da je v eni tabletki uranovega dioksida toliko kalorične vrednosti kot v tovarnjaku premoga. 1Kg obogatenega urana (3,2%) nadomesti 84 ton premoga ali 58 ton kurilnega olja.



Slika 3: Jedrska cepitev



Slika 4: Cepitev za cepitvijo = jedrska verižna reakcija

Jedrska verižna reakcija je stalen vir toplote.

Jedrsko verižno reakcijo znamo vzdrževati v jedrskem reaktorju.

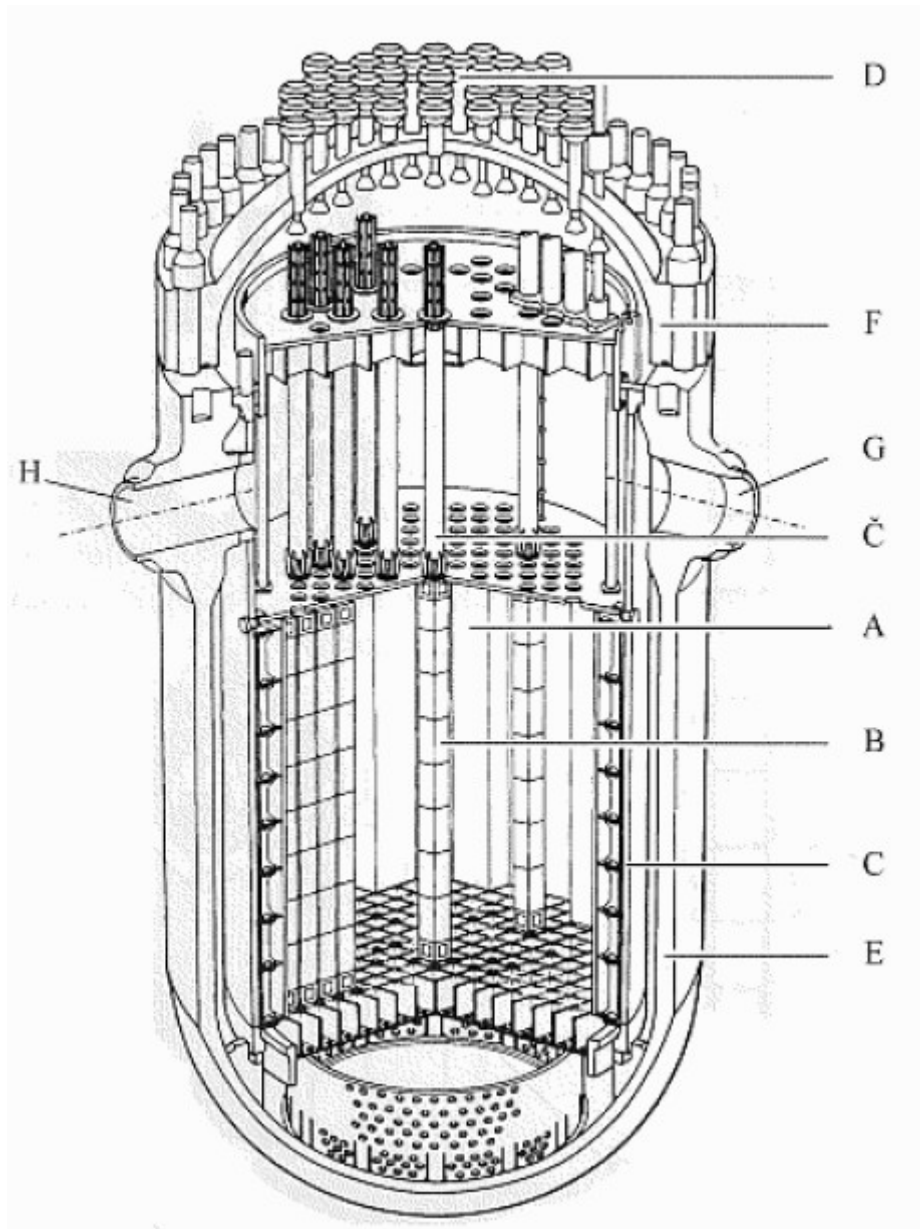
5.0 JEDRSKI REAKTORJI:

Jedrski reaktor je naprava, sestavljena iz reaktorske posode, sredice reaktorja in regulacijskih palic. V sredici teče nadzorovana cepitev uranovih ali plutonijevih jeder. Skozi reaktorsko (tlačno) posodo kroži hladilo (voda, plin, tekoča kovina). Cepitev lahko povzročijo hitri ali termični nevtroni. Ob cepitvi se rodijo hitri nevtroni, ki jih z moderatorjem upočasnimo. Tako nastanejo termični nevtroni, ki opravijo večino cepitev v običajnih reaktorjih, hitri nevtroni pa v hitrih reaktorjih.

Jedrske elektrarne se razlikujejo predvsem po tipu reaktorja, ki je njihov najpomembnejši del. Tako poznamo naslednje glavne vrste jedrskih elektrarn: (5.1.1-5.1.5)

5.1 TERMIČNI REAKTORJI:

To so reaktorji, ki delujejo pretežno s počasnimi (termičnimi) nevtroni.



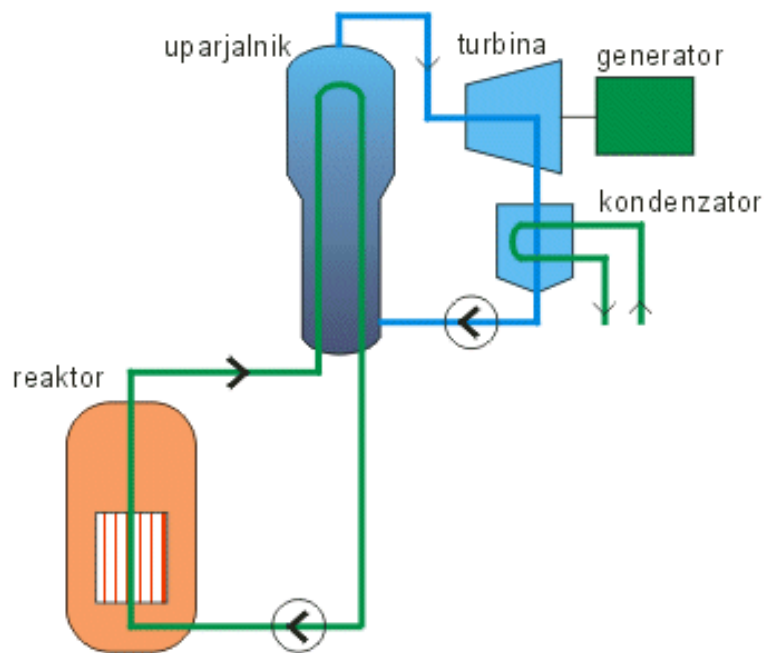
Slika 5: Glavni sestavni deli termičnega reaktorja:

- | | |
|--------------------------------|--------------------------|
| A- reaktorska sredica | B- gorivni element |
| C- reflektor | Č- regulacijske palice |
| D- vodenje regulacijskih palic | E- tlačna posoda |
| F- pokrov tlačne posode | G- dovod hladilne snovi: |
| H- odvod hladilne snovi | |

Gorivo je največkrat vstavljeno v posebne cevi, ki so med seboj vzporedne in postavljene v točno določenih razmikih. Vmesni prostor je zapolnjen z moderatorjem in hladilnimi kanali. Pretežni del prostih nevtronov mora difundirati skozi moderator, da lahko sproži novo cepitev.

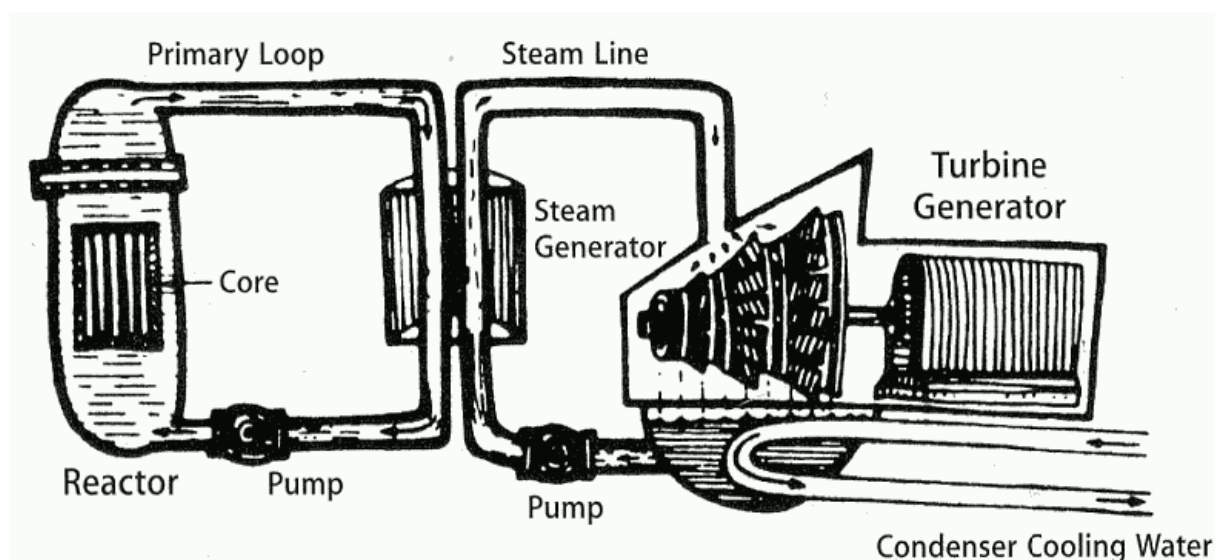
5.1.1 TLAČNOVODNI REAKTOR (PWR- pressurized water reactor) :

Tlačnovodni reaktorji so največkrat uporabljeni reaktorji. Tak tip reaktorja je uporabljen tudi v JE Krško.



Slika 6: Shema tlačnovodnega reaktorskega sistema

Pri tem reaktorju je hladilna voda (primarni hladilni krog) v reaktorski posodi pod tlakom, ki je večji od nasičenega parnega tlaka pri največji obratovalni temperaturi. Zato se reaktorsko hladilo ne more uparjati. Pri temperaturi vode 302°C v primarnem krogu je voda dovolj podhlajena pri tlaku 157 bar. Do uperjenja pride šele v uparjalniku (sekundarni hladilni krog). To je kotel, kjer je veliko število tankih cevi. Skoznje poganjajo močne primarne črpalke reaktorsko hladilo, ki svojo toploto oddaja sekundarnemu hladilu, ki kroži okoli cevi uparjalnika. Zaradi segrevanja se sekundarno hladilo uparja. Para poganja turbino, po koncu dela pa se kondenzira v kondenzatorju turbine in se nato vrača v uparjalnik. Pri tlačnovodnem reaktorju sta primarni in sekundarni krog ločena, kar je ugodno če pride do radioaktivnega onesnaženja hladilne vode.



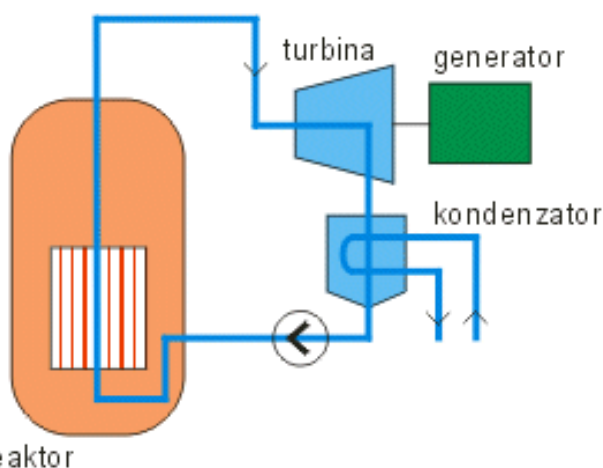
Slika 7: Shema tlačnovodnega reaktorskega sistema

Kot moderator in hladilno sredstvo je ponavadi uporabljena voda. Njene dobre lastnosti so: razpoložljivost, nizka cena in dobro zaviranje nevtronov. Dobro zaviranje nevtronov pa dopušča gradnjo reaktorjev z majhnim volumnom oz. z gosto pakiranimi gorivnimi palicami. Gosto pakiranje gorivnih palic pa nam dopušča, da se v reaktorju doseže velika gostota proizvedene toplotne moči (reda 100 MW/m³).

V tem reaktorju ne morem uporabiti naravnega urana kot goriva, ker se v njem ne bi mogla doseči kritičnost. Zato morajo taki reaktorji imeti obogateno gorivo. Slaba stran tega goriva je v njegovi visoki ceni. Ima pa reaktor to dobro stran, da je potrebno gorivo menjati na vsako leto ali dve, kar pa za reaktorje, ki uporabljajo naravni uran, ni mogoče trditi. Po uporabi je gorivo možno predelati in ponovno koristno uporabiti.

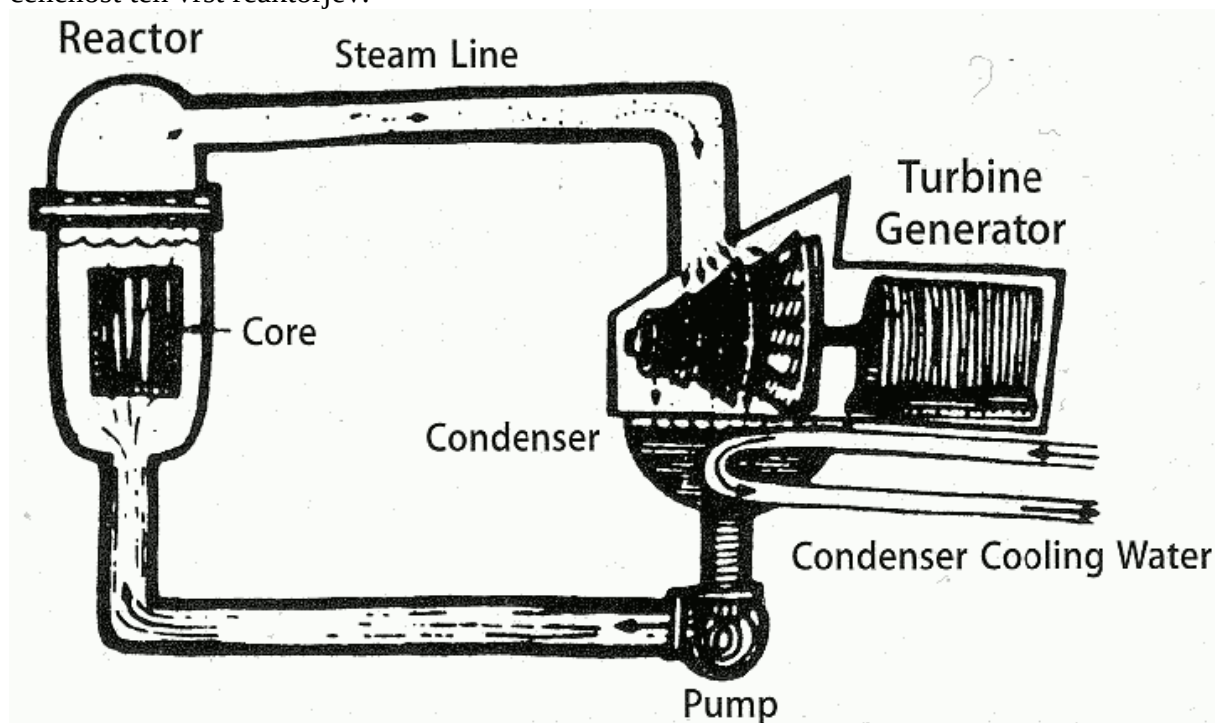
Reaktor uporablja uparjalnik (Steam generator), tako da je reaktorski tokokrog popolnoma ločen od turbinskega.

5.1.2 VRELNI REAKTOR (BWR- boiling water reactor) :



Slika 8: Shema vrelnega reaktorskega sistema

Vrelni reaktor ima le en tokokrog: ena in ista voda se uporablja kot hladilna snov v jedrskem reaktorju, kot moderator in kot delovna snov v turbinskem krožnem procesu. V zgornjem delu reaktorske sredice se voda upari. Nastala para poganja turbino, kjer se po opravljenem delu kondenzira in se vrne nazaj v reaktorsko posodo. Proizvodnja pare v reaktorski sredici zahteva relativno velike in drage tlačne posode, obenem pa je količina pare omejena, sicer postane delovanje moderatorja prešibko. Vendar vse pomanjkljivosti odtehta zanesljivost in cenenost teh vrst reaktorjev.

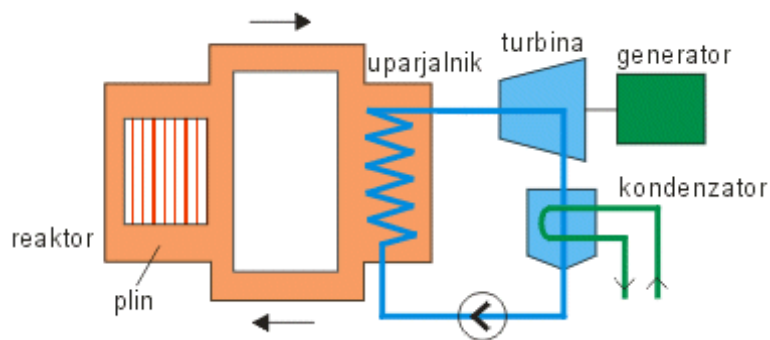


Slika 9: Shema vrelnega reaktorskega sistema

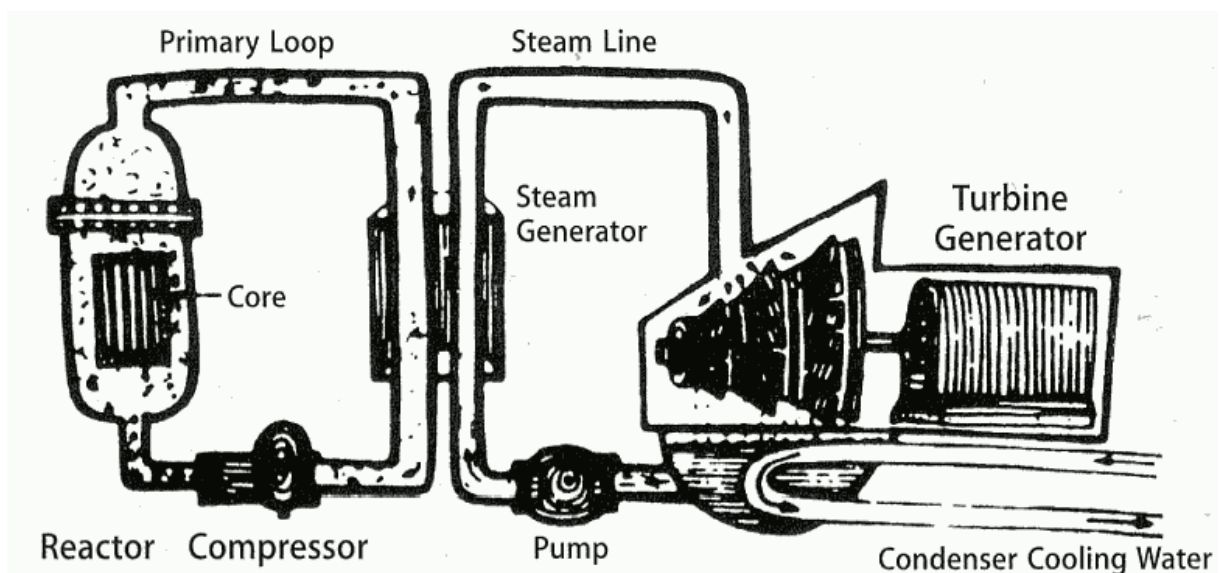
5.1.3 PLINSKO HLAJENI REAKTOR:

V to skupino spadajo:

- *plinsko-grafitni reaktor (gas cooled reactor – GCR)* – po vsej verjetnosti je bil prvotno namenjen proizvodnji plutonij, šele kasneje kot energetski reaktor. Kot gorivo se uporablja naravni uran. Kot moderator se uporablja grafit, kot hladilno sredstvo pa se uporablja plin (npr. CO₂)
- *izboljšani plinsko hlajeni reaktor (advanced gas reactor – AGR)* – zgrajen je bil v VB z namenom biti bolj ekonomičen kot plinsko-grafitni reaktor. Uporablja se v povezavi z obogatenim uranom.
- *visokotemperaturni reaktor (high temperature reactor – HTR)* – najvišja stopnja plinsko hlajenih reaktorjev. Kot hladilno sredstvo je namesto CO₂, ki postane pri temperaturah nad 1000 °C nestabilen, uporabljen helij.



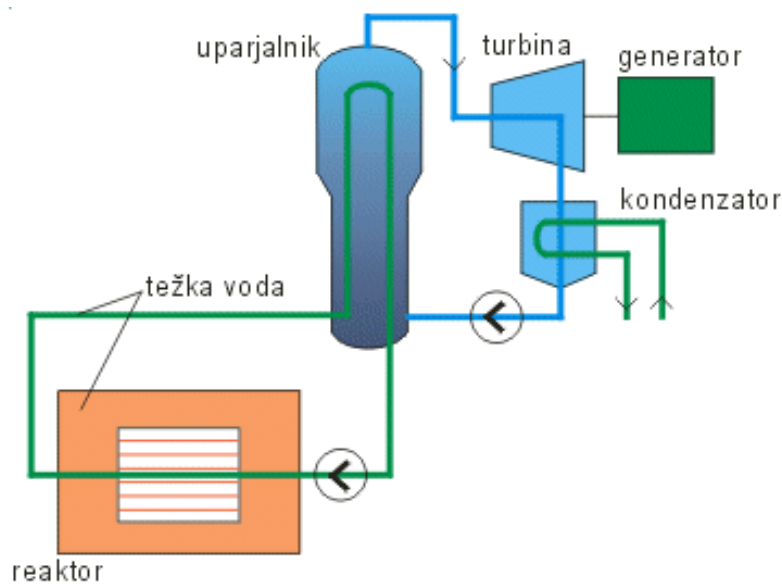
Slika 10: Shema plinsko-grafitnega sistema



Slika 11: Shema visokotemperaturnega sistema

5.1.4 TEŽKOVODNI REAKTOR: (HWR- heavy water reactor)

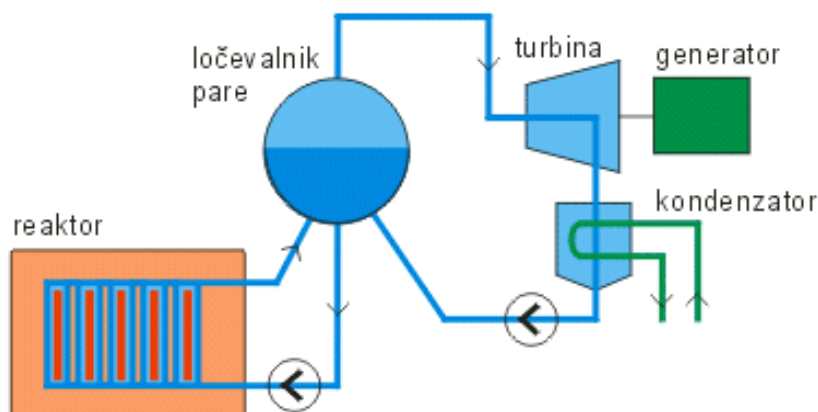
Zasnovan je podobno kot tlačnovodni reaktor, le da je hlajen s težko vodo. Modernirana in hlajena je s težko vodo. Voda v reaktorju ne vre. Uparja se sekundarna (navadna) voda v uparjalniku. Voda v uparjalniku ne vre.



Slika 12: Shema težkovodnega sistema

5.1.5 VODNO HLAJENI, GRAFITNO MODERIRANI REAKTOR (LWGR-Light Water cooled Graphite moderated Reactor) :

Modernirana je z grafitom in hlajena z navadno vodo. Voda vre v reaktorju, para se loči od kapljev in v ločevalniku pare.



Slika 13: Shema vodno hlajenega, grafitno moderniranega sistema

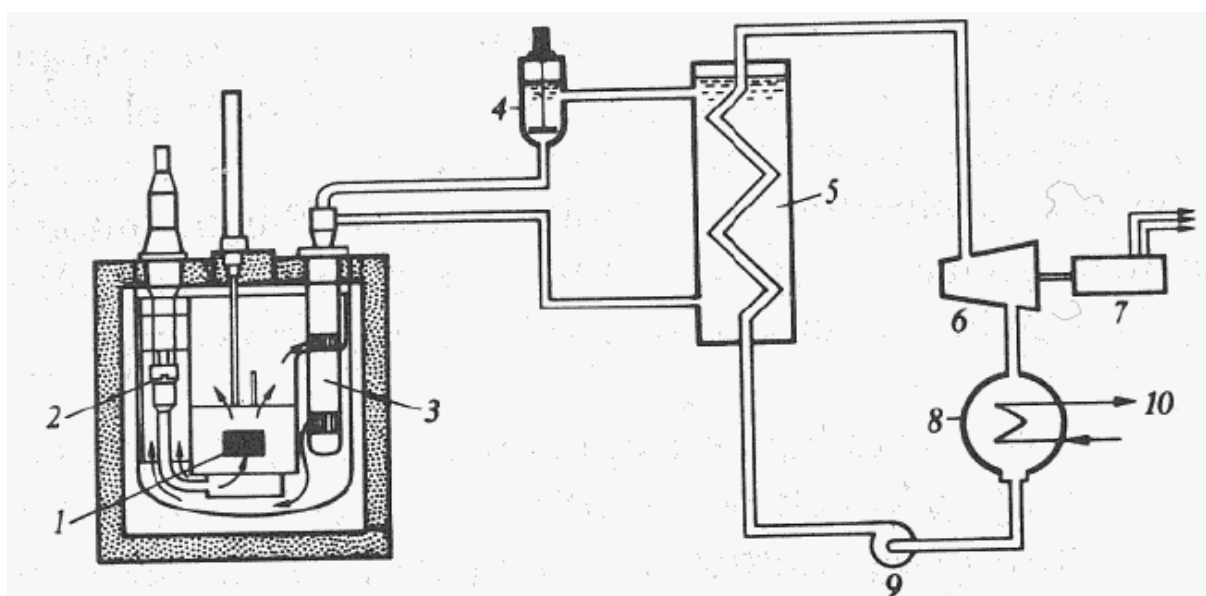
5.2 OPLODNI REAKTORJI (Breeder type)

V termičnih reaktorjih se v glavnem izkorišča le izotop uran 235, medtem ko je izotop uran 238, ki ga je v naravi 140-krat več, pri reakciji udeležen le posredno. Uran 238 pa je mogoče izkoriščati v *oplodnih* jedrskih reaktorjih. V takih reaktorjih hitri nevtroni preobrazijo naravna jedrska goriva, med katere spadata predvsem uran 238 in torij 232, v močna goriva. Za cepitev je potreben po en nevtron.

Oplodni reaktor obratuje z močno obogatenim gorivom, nima pa moderatorja (moderator upočasnjuje hitrost nevtronov, hitri nevtroni se spreminjajo v počasne), zato obstaja nevarnost nekontrolirane jedrske reakcije. Nadaljnje težave povzročajo neobičajne hladilne snovi. Reaktorska hladilna snov je precej radioaktivna, kar ima za posledico radioaktivnost tudi v sekundarnem hladilnem krogu. Zato je potreben še tretji zaprti tokokrog v katerem teče voda.

Jedrske elektrarne z oplodnim reaktorjem se gradijo v dveh izvedbah:

- **integralna izvedba**, celotni primarni krog z radioaktivnim natrijem, črpalko in primarnim izmenjevalnikom toplote je nameščen v reaktorski posodi

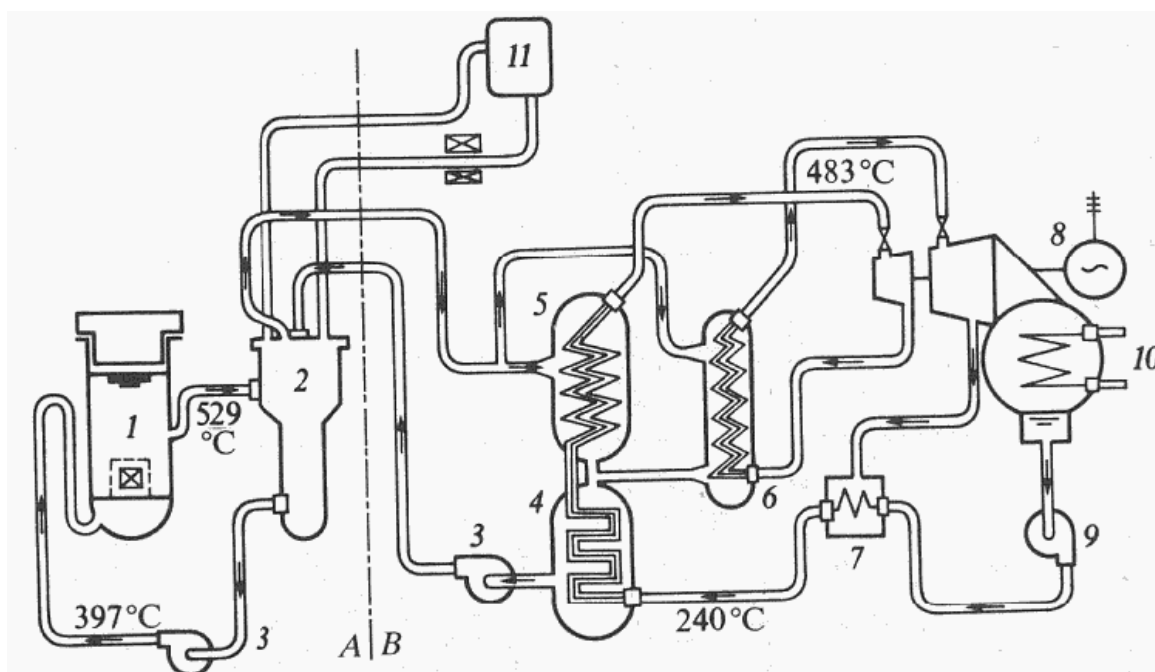


Slika 14: Shema jedrske elektrarne s hitrim oplodnim reaktorjem v integralni izvedbi.

- | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1- Jedro reaktorja | 2- Primarna črpalka natrija |
| 3- Primarni izmenjevalnik toplote | 4- Sekundarna črpalka natrija |
| 5- Uparjalnik | 6- Turbina |
| 7- Generator | 8- Kondenzator |
| 9- Črpalka | 10- Kondenzatorjev hladilni krog |

Oplodni jedrski reaktorji imajo predel, kjer poteka cepitev jeder, ter enega ali več oplodnih predelov. Prvo omenjeni predel ne sme imeti moderatorja, gorivo pa mora biti močno obogateni uran ali plutonij. Ker je potrebno intenzivno hlajenje, so hladilne snovi lahko samo tekoče kovine (npr. natrij), ki imajo zelo dobro toplotno prestopnost. V oplodnih predelih pa sta gorivo naravni uran in torij.

- **ločena izvedba**, v reaktorski posodi je nameščeno samo reaktorsko jedro, ostali elementi pa so zunaj posode



Slika 15: Shema jedrske elektrarne s hitrim oplodnim reaktorjem v ločeni izvedbi

A- primarni del

B- sekundarni del

1- reaktor

2- primarni izmenjevalnik toplote natrij-natrij

3- primarna in sekundarna črpalka za natrij

4- uparjalnik

5- pregrevalnik

6- medpregrevalnik

7- regerativni predgrevalnik

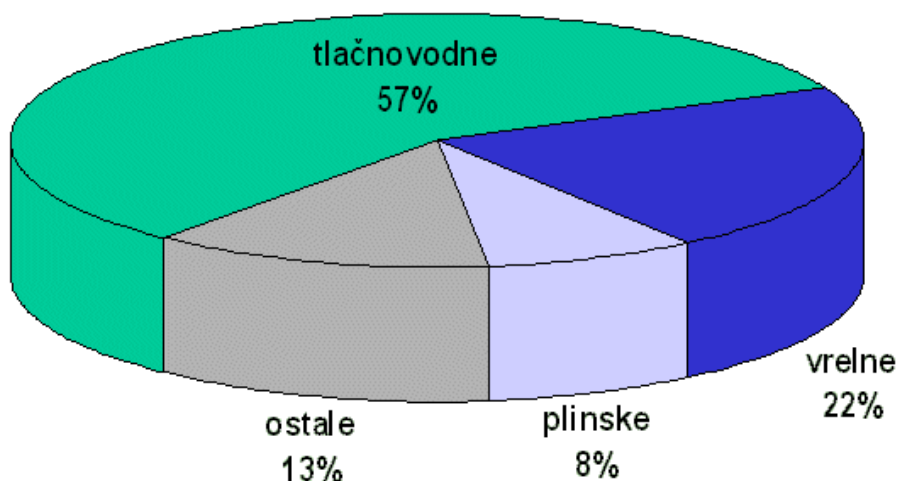
8- turbogenerator

9- kondenzatorska črpalka

10- kondenzator

11- hladilnik

6.0 PRISOTNOST POSAMEZNIH TURBIN PO SVETU:



Graf 1: Prisotnost turbin po svetu

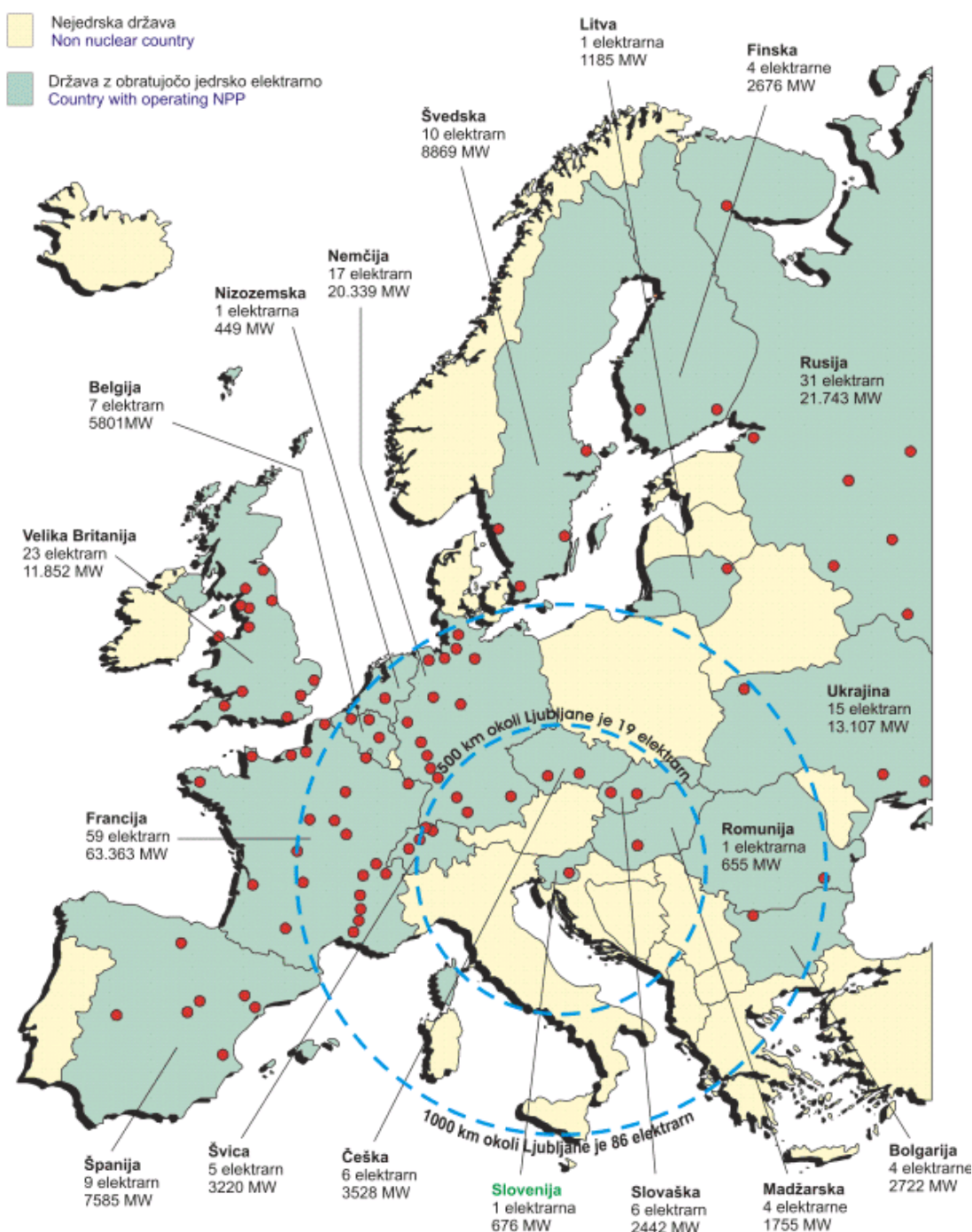
Poleg reaktorjev v jedrskih elektrarnah je po svetu tudi okoli 250 raziskovalnih, poskusnih, šolskih in proizvodnih reaktorjev.

Na plovilih raznih držav (podmornic, letalonosilk) je vgrajenih več kot 500 pogonskih jedrskih reaktorjev.

7.0 JEDRSKE ELEKTRARNE PO SVETU:

Jedrska energija predstavlja pomemben delež pri pridobivanju električne energije, saj je ob koncu leta 2005 obratovalo po svetu 442 jedrskih elektrarn, s skupno močjo 380.000 MWe, v izgradnji pa jih je 24. Električno energijo pridobivamo v 31 državah. Delež pridobljene električne energije v nekaterih državah znaša tudi nad 70%. Po svetu v jedrskih elektrarnah pridobijo 17% celotne električne energije.

7.1 JEDRSKE ELEKTRARNE V EVROPI:



Slika 16: Jedrske elektrarne v Evropi (oktobra 2005)

7.2 JEDRSKE ELEKTRARNE V AMERIKI:



Slika 17: Jedrske elektrarne v Ameriki (leta 2005)

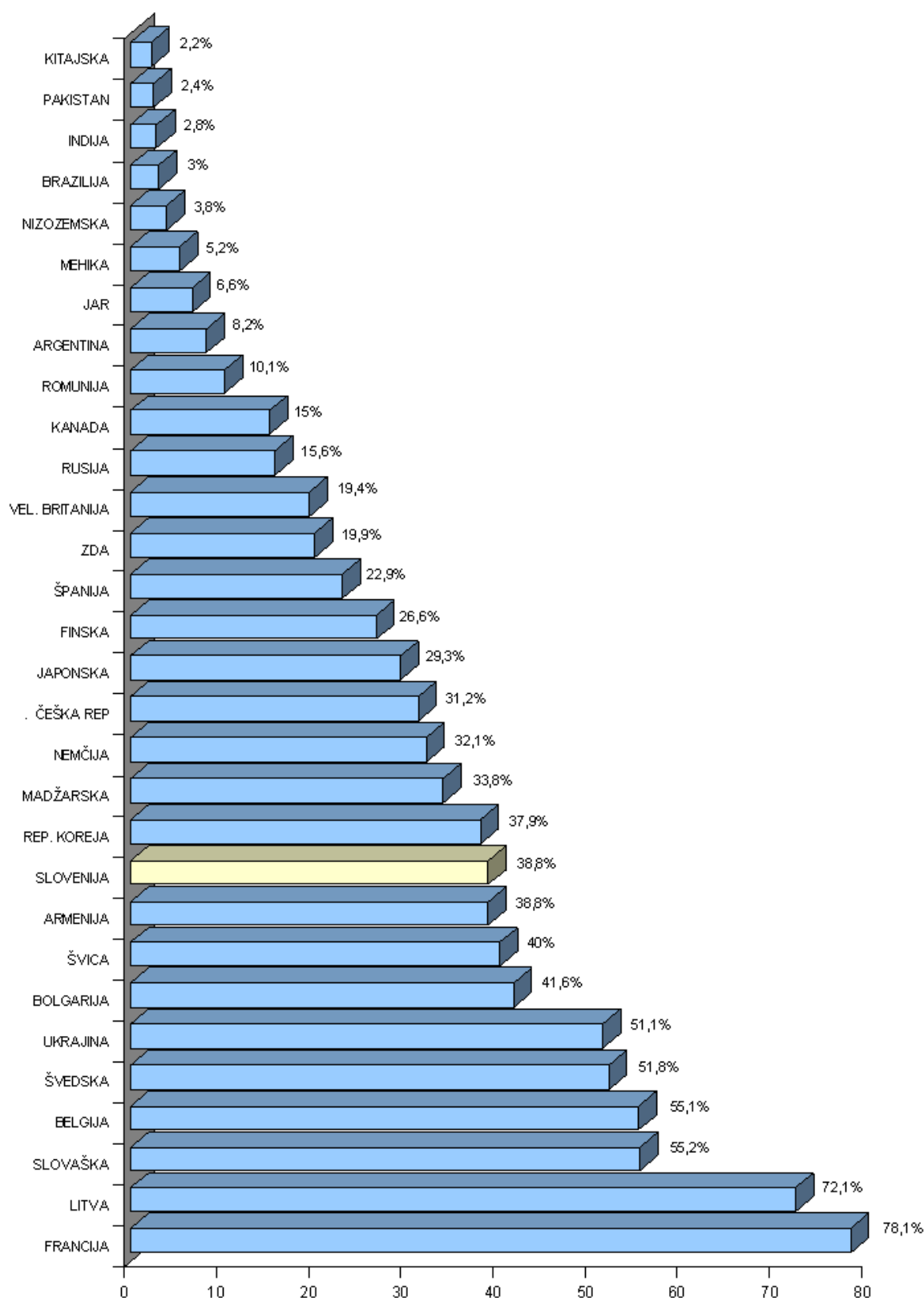
7.3 JEDRSKE ELEKTRARNE V AZIJI IN AFRIKI:



Slika 18: jedrske elektrarne v Aziji in Afriki

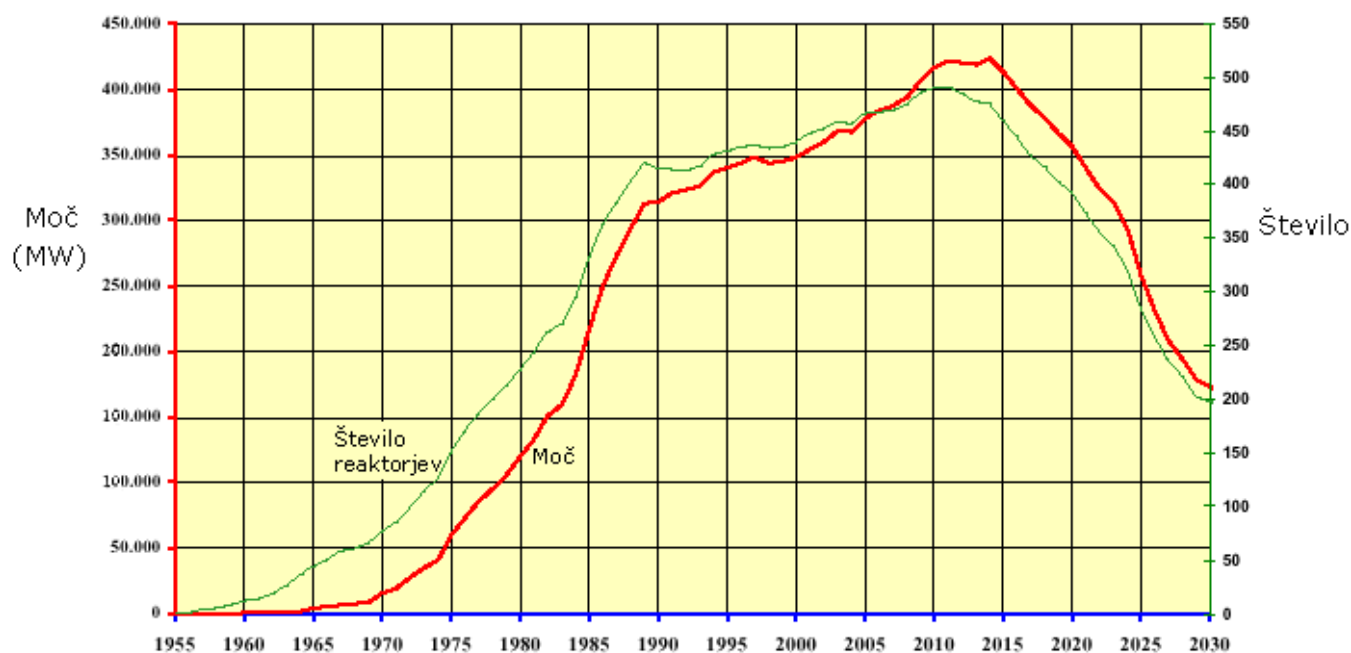
Največ jedrskih elektrarn ima ZDA (104), sledi ji Francija (59) in Japonska (55)

8.0 DELEŽ JEDRSKE ENERGIJE V SKUPNI PROIZVODNJI ELEKTRIKE:



Graf 2: Delež jedrske energije v skupni proizvodnji elektrike (za leto 2005)

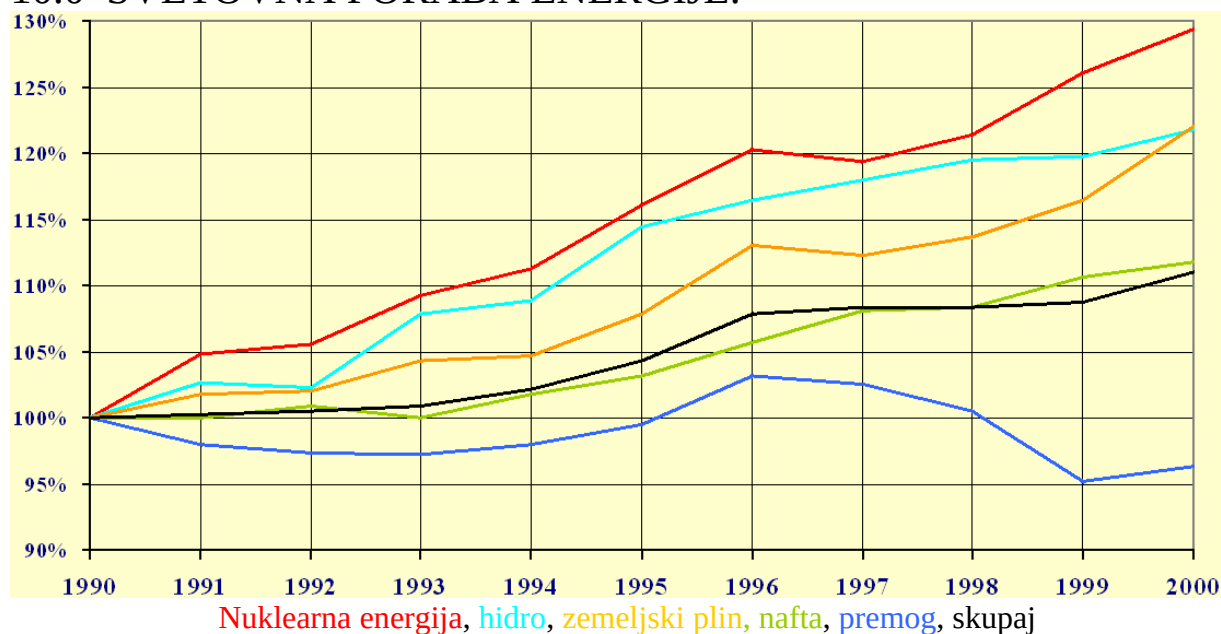
9.0 MOČ IN ŠTEVILO REAKTORJEV V JEDRSKIH ELEKTRARN:



Graf 3: Moč in število reaktorjev v jedrskih elektrarnah

Upoštevani so vsi delujoči reaktorji, vsi tisti, ki jih že gradijo ali so resno načrtovani. Zelo verjetno pa je da bodo v naslednjih letih začeli z gradnjo novih elektrarn, kar bo krivuljo obrnilo navzdol po letu 2015.

10.0 SVETOVNA PORABA ENERGIJE:



Graf 4: Poraba energije po svetu

10.1 NAJMOČNEJŠA JEDRSKA ELEKTRARNA je v Franciji (Chooz) in ima 1455MW električne moči.



Slika 19: Chooz

11.0 SPLOŠNI PODATKI O JEDRSKIH ELEKTRARNAH PO SVETU:

Število obratujočih JE oktobra 2005	442
Prva jedrska elektrarna	Obninsk, Rusija, 1954 (5MW)
Najmočnejša jedrska elektrarna	Chooz, Francija, 1455 MW
Delež JE v svetovni proizvodnji	17%
V JE proizvedena energija leta 1999	2403 TWh
Število obratovalnih let JE do 19.10.2001	10.070
Število držav z obratujočimi JE	31
Število jedrskih elektrarn v gradnji (oktober 2005)	24
Število v letu 2000 pognanih JE	3
Število ustavljenih JE	117
Število razgrajenih JE	17

12.0 NUKLEARNA ELEKTRARNA KRŠKO (NEK):



Slika 20: Jedrska elektrarna Krško

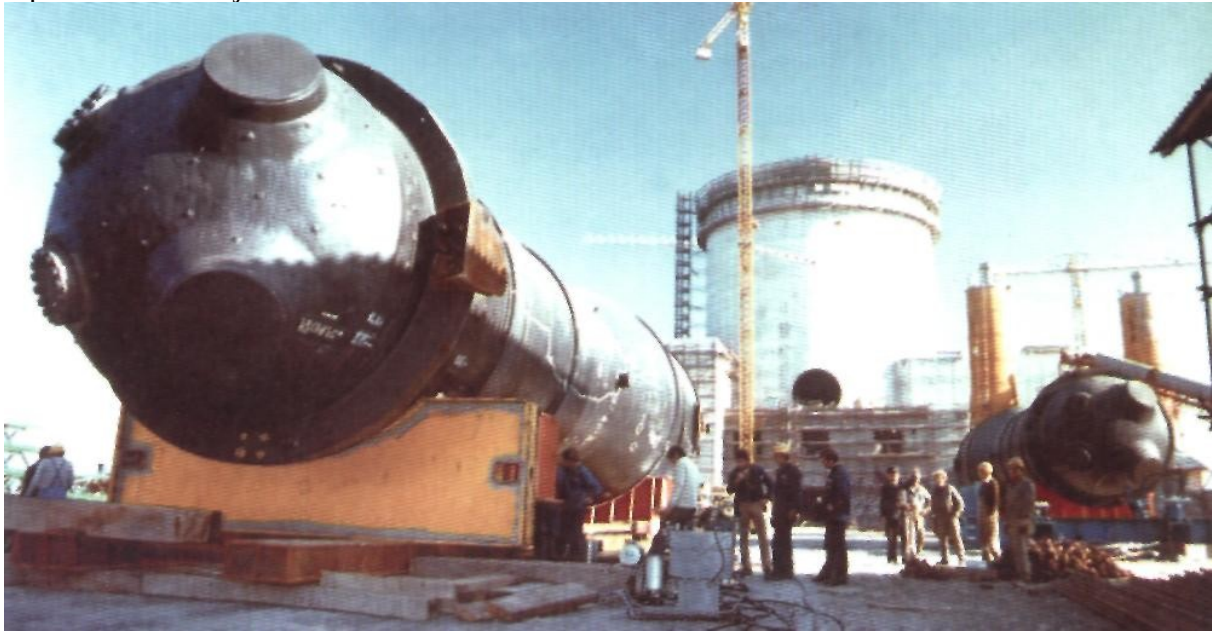
Jedrsko elektrarno Krško z neto električno močjo (na začetku 632) 676 MW sta zgradili elektrogospodarstvi Slovenije in Hrvaške in si zato tudi delita pridobljeno električno energijo. Letno pridobijo okoli 5 TWh električne energije. Graditi so začeli leta 1974, ko je bila sklenjena pogodba o dobavi opreme in graditvi jedrske elektrarne z ameriško firmo WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION. Po pogodbi je bil glavni izvajalec Westinghouse, njegov projektant pa ameriška firma Gilbert Associates.

Gradbena dela sta opravili podjetji Gradis in Hidroelektra, montažo pa Hidromontaža in Djuro Djakovic. Elektrarna je bila zgrajena v skladu z zvezno in republiško zakonodajo ob upoštevanju ameriških predpisov in standardov za gradnjo jedrskih objektov in priporočil Mednarodne agencije za atomsko energijo. Pri dobaviteljih opreme in med gradnjo so opravljali tudi program za zagotovitev in nadzor kakovosti. Elektrarna je od pristojnih upravnih organov Slovenije in Hrvaške dobila vsa potrebna dovoljenja in soglasja za gradnjo in obratovanje. Za izdajo gradbenega dovoljenja je bilo treba predložiti vso dokumentacijo za graditev klasične termoelektrarne in še predgradbeno varnostno poročilo, ki je bilo izdelano skladno z zahtevami ameriške zakonodaje. Pred začetkom obratovanja je bilo izdelano in potrjeno tudi končno varnostno poročilo, na podlagi katerega se izdaja obratovalno dovoljenje. Dokument vsebuje okoli 3500 strani in je razdeljen na 17 poglavij, v katerih je natančen opis elektrarne. Posebno natančno so obravnavani tisti deli, ki skrbijo za varno obratovanje.

Prav gotovo v Sloveniji še niso gradili industrijskega objekta, ki bi ga tako vsestransko analizirali na temelju domačih in tujih predpisov, kot jedrsko elektrarno Krško.

Visoka razpoložljivost NEK in zanesljivo ter varno obratovanje sta plod pravilnega dela zelo dobro strokovno usposobljenih delavcev NEK. Delavci, ki upravljajo elektrarno, morajo dokončati program usposabljanja, ki traja približno 2 leti in pol, od tega 4 mesece na

simulatorju jedrske elektrarne. Po koncu usposabljanja morajo uspešno opraviti izpit pred republiško komisijo.



Slika 21: Uparjalnika na dvorišču NEK

12.1 OPIS LOKACIJE NEK:

Nuklearna elektrarna Krško stoji na levem bregu Save, 4Km od Krškega in 6,5Km od Brežic. Zemljišče znotraj ograje obsega 20 hektarov in je v lasti NEK

12.1.1 METEOROLOGIJA IN HIDROLOGIJA:

Okolica elektrarne ima kontinentalno podnebje, kjer prevladujejo majhne hitrosti vetra. Na leto pade približno 1000mm padavin. Ker je lokacija elektrarne ob reki Savi, ki na tem območju večkrat poplavlja, je dvorišče elektrarne postavljeno za 0,2m nad višino desetisočletnih poplav. Pri izbiri lokacije so obravnavali tudi okvaro jezusa Zbiljskega jezera. Izračunali so da bi pri trenutnem zlomu zapornic pri Litiji dobili pretok istega velikostnega razreda kot pri stoletnih poplavah. Najmanjši pretok Save pri Krškem je okoli $41\text{m}^3/\text{s}$. Pri tem potrebuje elektrarna $0,92\text{m}^3/\text{s}$ vode za sisteme bistvene oskrbne vode in $25\text{m}^3/\text{s}$ za sistem hladilne vode kondenzatorja. Za hlajenje je dovoljeno odvzemati iz reke največ četrtno pretoka Save. S pomočjo hladilnih stolpov pa je možno zadovoljiti potrebe sistema hladilne vode kondenzatorja z odvzemom samo $10\text{m}^3/\text{s}$ vode iz Save. Dopustno je povišanje temperature Save v točki mešanja za 3°C , kar pomeni, da je potrebno dopolnilno hlajenje s hladilnimi stolpi, kadar pade pretok Save pod $100\text{m}^3/\text{s}$

12.1.2 GEOLOGIJA IN SEIZMOLOGIJA

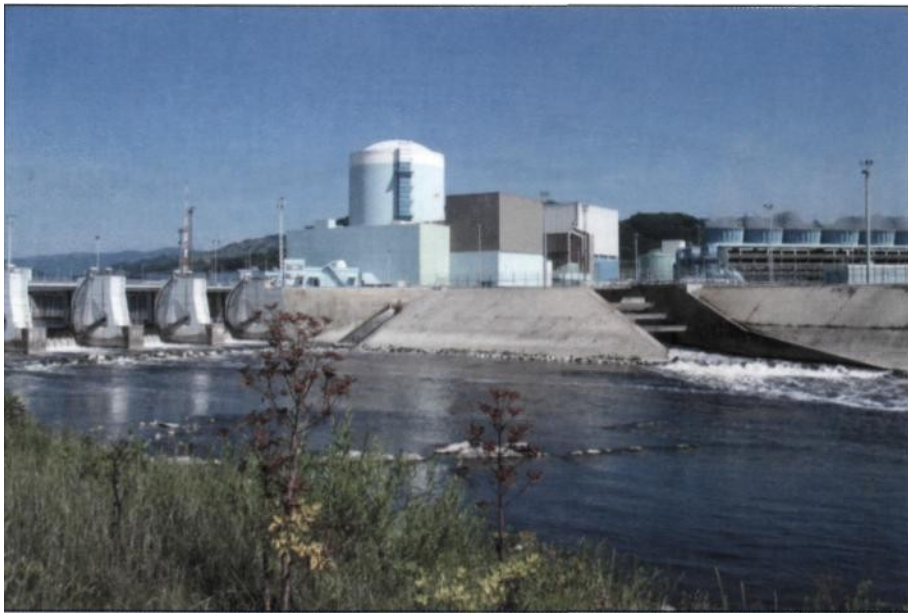
Lokacija NEK geološko pripada Krški depresiji Alpske geosinklinale. Na lokaciji NEK niso opazili nobenih deformacij površine ali prelomov v zvezi s preteklimi potresi za obdobje zadnjih 500 let. Na podlagi raziskav so odkrili dve nedejavni prelomnici, ki sta od reaktorske zgradbe oddaljene okoli 2Km.

12.2 NAČELA ZA PROJEKTIRANJE NEK:

Jedrske elektrarne je mogoče graditi tudi na potresnem področju. Seveda pa morajo take elektrarne prenesti določene pospeške. Zato tudi projektiranje in njenih opor za NEK upošteva poleg normalnih obratovanj še obremenitve seizmičnega izvira.

Zgradbe znotraj kategorije 1 morajo zdržati učinek potresa in zagotoviti, da so izpolnjene naslednje zahteve:

- Izguba hladila
- Protipotresno projektiranje
- Temelji in betonske podpore



Slika 22: Sava, vir hlajenja za NEK

12.3 POMEMBNEJŠI DATUMI NEK:

1970

Začetek priprav na gradnjo, sporazum o gradnji med Slovenijo in Hrvaško

April 1971

Razpis mednarodnega natečaja za gradnjo NEK

Avgust 1974

Podpis glavne pogodbe z družbo Westinghouse

December 1974

Položen temeljni kamen za NEK

Februar 1975

Začetek izkopov in gradbenih del na gradbišču

Oktober 1976

Zaključek montaže reaktorske zgradbe

Oktober 1977

Začetek montaže turboagregata

April 1978

Zaključek montaže uparjalnikov in reaktorske posode

November 1979

Zaključek glavnega dela tlačnih preizkusov

Oktober 1980

Zaključena dobava goriva

November 1980

Prvič doseženi nominalni parametri tlaka in temperature v primarnem krogu

Maj 1981

Gorivo vloženo v reaktorsko posodo

September 1981

Prvič dosežena samovzdrževalna verižna reakcija

Oktober 1981

Sinhronizacija generatorja na omrežje – NEK odda prve kilovate

Februar 1982

100% moč elektrarne

Avgust 1982

Začetek obratovanja s polno močjo

Januar 1983

Začetek komercialnega obratovanja

Julij 1983

Začetek prvega letnega remonta in prve menjave goriva

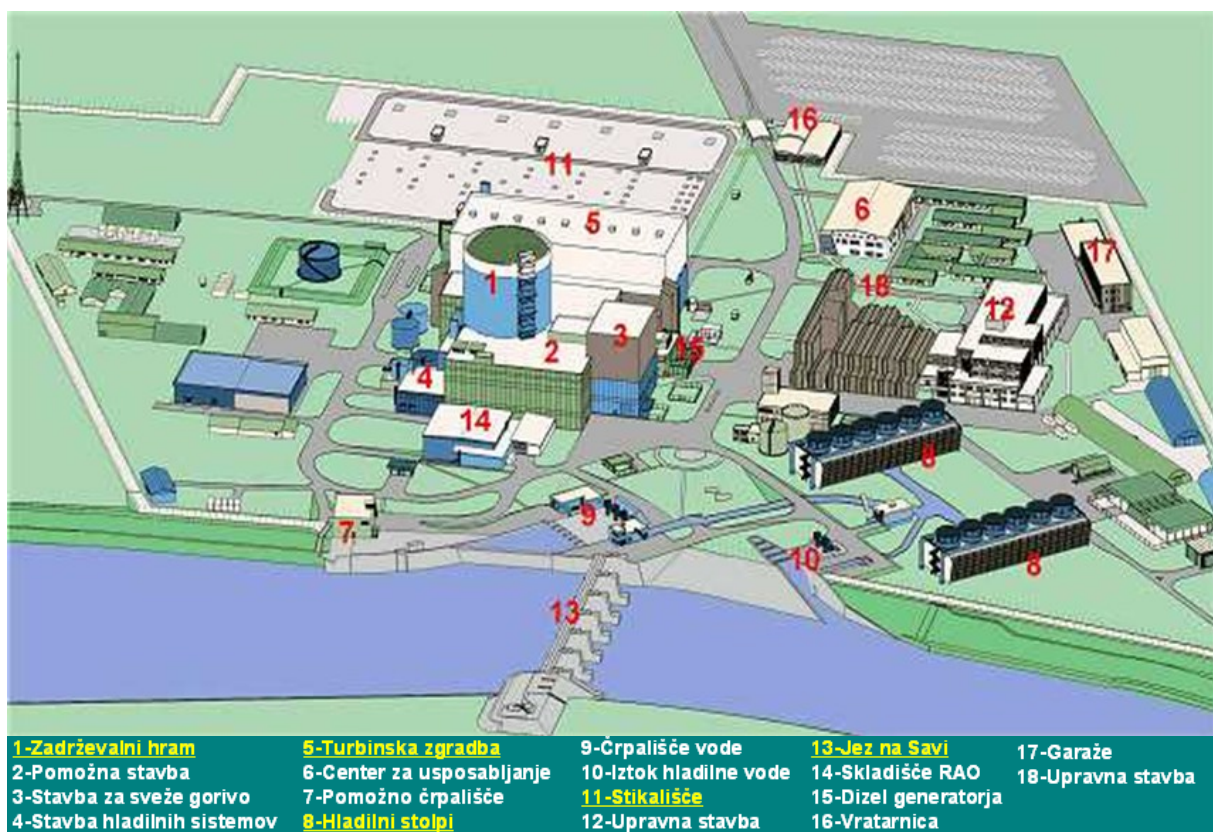
Februar 1984

Izdaja dovoljenja za začetek rednega obratovanja

Pomlad 2000

Zamenjava uparjalnikov in posodobljenje NEK

12.4 RAZPOREDITEV OBJEKTOV V NEK:

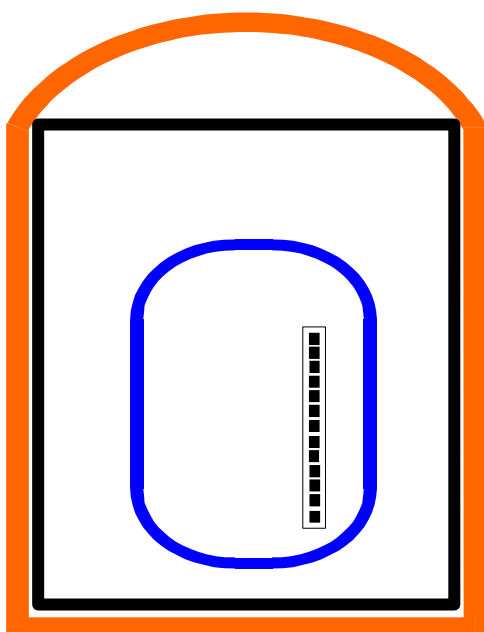


Slika 23: Objekti v NEK

Vsi tehnološko pomembnejši objekti NEK stoje na masivni železobetonski plošči, zasidrani v glinasto-peščene sloje pliocenskih usedlin Krškega polja. Ta plošča tvori čvrst in potresno varen temelj. Zgradbe so projektirane in grajene tako, da brez poškodb zdržijo potres devete stopnje po MCS potresni lestvici.

12.5 REAKTORSKA ZGRADBA

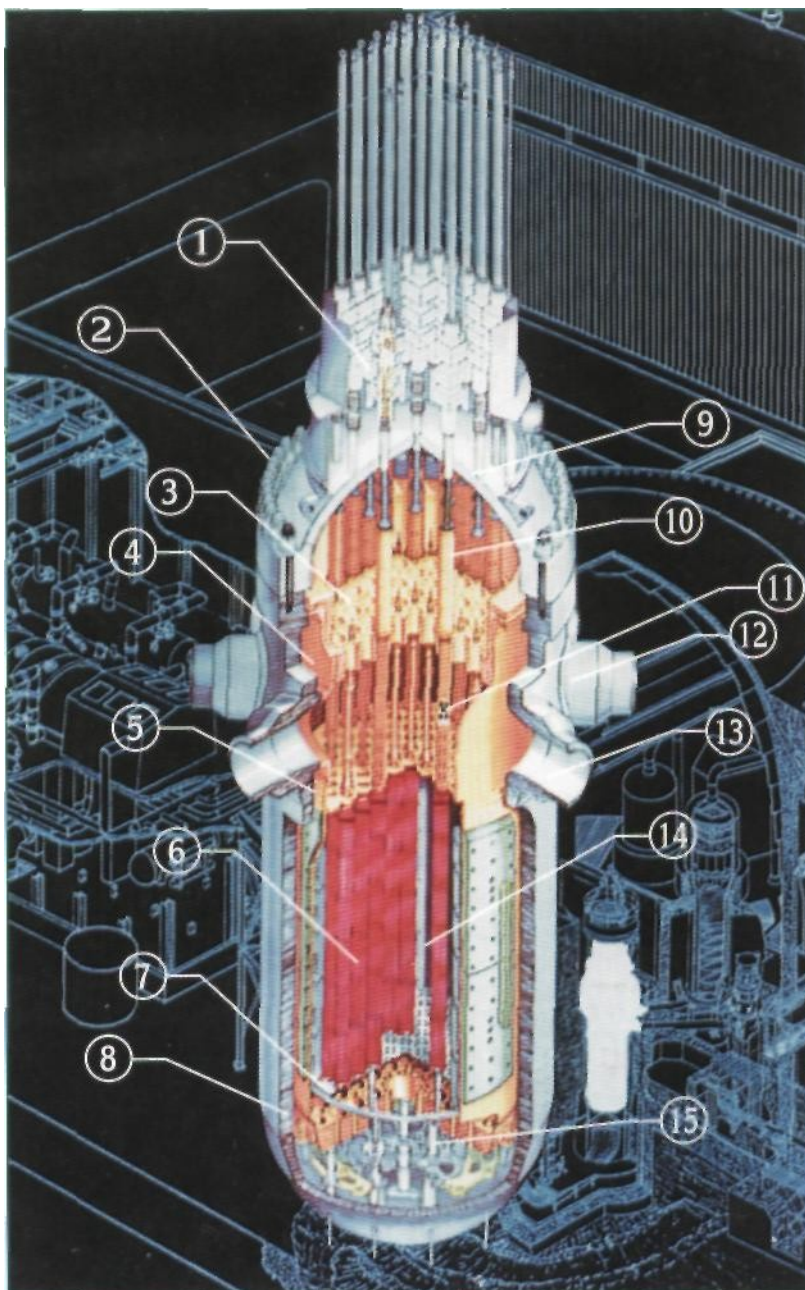
Reaktorsko zgradbo, v kateri je reaktor s hladilnima zankama in varnostnimi sistemi, sestavljata notranja tlačna jeklena lupina (debeline 4cm) in zunanja železobetonska zaščitna zgradba. Predora v reaktorsko zgradbo za ljudi in opremo sta opremljena z zrakotesnimi prehodnimi komorami z dvojnimi vrati. Številni predori skozi stene za cevovode in kable so dvojno tesnjeni. Ob reaktorski zgradbi so objekti za pomožne sisteme, hlajenje delov, ravnanje z gorivom, zasilne dizelske generatorje in turbinska zgradba. Reaktorska zgradba je visoka 71m in je najvišji objekt v NEK.



Slika 24: 4 zaščitne lupine (srajčka goriva, meja primarnega sistema, jeklena lupina, železobetonska zgradba.)

12.6 REAKTORSKA POSODA:

V reaktorski posodi z višino 11,9 m in zunanjim premerom 3,69 m so sredica z gorivom, regulacijske palice, toplotni ščit in deli za usmerjanje pretoka hladila. Posoda je valjaste oblike, polkrožno dno je privarjeno, pokrov pa privijačen na prirobnico. Cevovodi, ki so privarjeni na vstopno in izstopno šobo tlačne posode, jo povezujejo s sistemom reaktorskega hladila. Zunanja površina je toplotno izolirana s ploščami iz nerjaveče jeklene pločevine. Hladilo vstopa v reaktorsko posodo skozi vstopno šobo, teče navzdol med steno reaktorske posode in plaščem sredice in se nato dvigne skozi sredico, kjer se ogreje. Ogreta voda zapusti reaktor skozi izstopno šobo.



Slika 25: Reaktorska posoda z notranjimi deli

- | | |
|---|--|
| 1- Pogonski mehanizem regulacijskih palic | 11- Dvižni drog regulacijskega svežnja |
| 2- Glava reaktorske posode | 12- Vstopna šoba |
| 3- Zgornja oporna plošča | 13- Izstopna šoba |
| 4- Plašč sredice | 14- Delilnik pretoka |
| 5- Zgornja plošča sredice | 15- Vodila za instrumentacijo |
| 6- Gorivni element | |
| 7- Spodnja nosilna plošča sredice | |
| 8- Oporno dno | |
| 9- Toplotna ovojnica | |
| 10- Vodilo regulacijskega svežnja | |

12.7 GORIVNI SVEŽENJ (element)

Sredica reaktorja s premerom 2,45m je urejen sestav mehansko enakih gorivnih svežnjev (elementov), ki se razločujejo po obogatitvi goriva in razporeditvi absorberjev. Gorivni sveženj je sestavljen iz snopa gorivnih palic, ki jih je 235, in iz 21 vodil za regulacijske in druge palice, ki so postavljene v kvadratni rešetki (16 x 16 palic in vodil). **Gorivno palico** dolžine 3,66 m sestavljajo keramične tablete UO₂ s premerom 8,2 mm, nanizane v srajčki iz cirkonijeve zlitine. Najvišja temperatura v gorivu pri polni moči je pod 1900°C. Obogatitev goriva je od 2.1 do 4.3 utežnih odstotkov U-235. V sredici je 121 gorivnih svežnjev oziroma 28.435 gorivnih palic s skupno maso urana 48,7 t. Vsako leto zamenjajo (pri 7000 obratovalnih urah) 25 do 30 % urana. Izrabljene gorivne svežnje začasno uskladiščijo v bazenu za izrabljeno gorivo, ki je napolnjen z vodo.

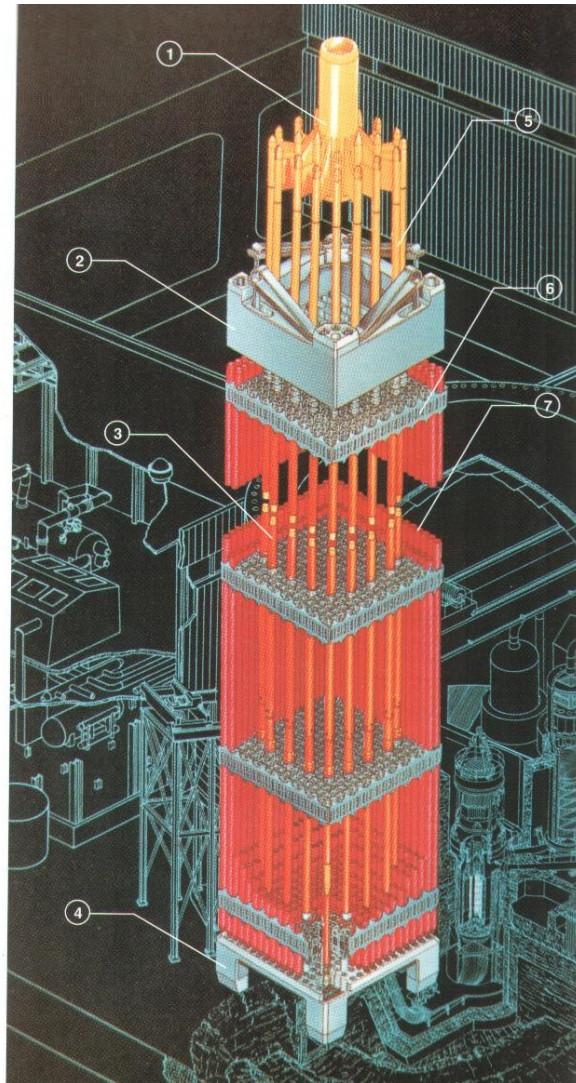
12.8 REGULACIJSKE PALICE:

Z regulacijskimi palicami uravnavajo število nevtronov (reaktivnost sredice), ki nastajajo pri cepitvi uranovih jeder, in regulirajo tudi porazdelitev moči v navpični smeri. Dviganje dviznih drogov teh palic upravljajo s sekvenčnim električnim napajanjem navitij, ki z magnetnimi silami držijo palice. Ob izpadu električnega napajanja regulacijski snopi prosto padejo v sredico reaktorja. Regulacijske palice so iz zlitine srebra, indija in kadmija. 20 palic je povezanih v enoten regulacijski snop. Vseh snopov je 33.

Poleg tega reaktivnost regulirajo tudi s spreminjanjem koncentracije borove kisline, ki je raztopljena v hladilni vodi. Z njo nadzorujejo le počasne spremembe reaktivnosti, ki se pojavljajo zaradi izgorevanja goriva in nabiranja cepitvenih produktov (samarij in ksenon). Bor namreč močno absorbira termične nevtrone in zato neposredno vpliva na hitrost verižne reakcije.

Toplotna moč reaktorja pri polni obremenitvi je 1876 MW. Glavna naloga sistema reaktorskega hladila je odvajanje te toplote iz sredice.

1. Regulacijski sveženj
2. Zgornja šoba
3. Vodilo absorpcijske palice
4. Spodnja šoba
5. Absorpcijska palica
6. Distančna rešetka
7. Gorivna palica



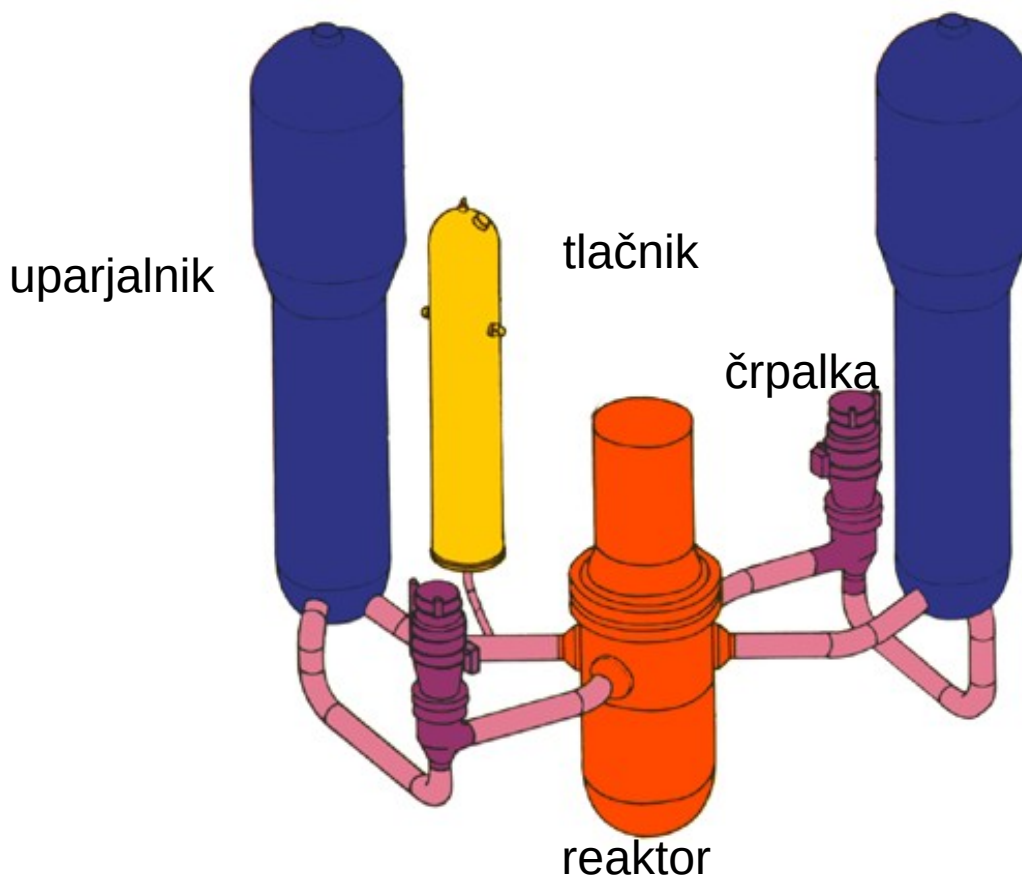
Slika 26: Gorivni sveženj, z regulacijskimi palicami

12.9 HLADILNI ZANKI:

Sistem reaktorskega hladila sestavljata dve vzporedni zanki za prenos toplote iz sredice v sekundarni sistem. Demineralizirana voda rabi kot reaktorsko hladilo, moderator in reflektor nevtronov ter topilo borove kisline za kemično uravnavanje reaktivnosti.

Glavni deli sistema reaktorskega hladila so:

- reaktorska posoda
- dve črpalki reaktorskega hladila
- dva uparjalnika
- cevovodni sistem
- tlačnik



Slika 27: Reaktorski hladilni sistem

Med obratovanjem elektrarne dve centrifugalni črpalki potiskata vodo skozi hladilni sistem. Pretok vode je 8967 kg/sek. Pri prehodu skozi reaktorsko posodo se voda z vstopno temperaturo 287°C pri polni moči segreje za 36°C. Zato je izstopna temperatura vode iz sredice 324°C pri obratovalnem tlaku 157 barov. Segreto vodo poženeta črpalki po ceveh s premerom 74 cm v uparjalnika, kjer odda del toplote vodi sekundarnega sistema, ki se pri tem uparja. Ohlajena voda se nato vrača v reaktorsko posodo.

Uparjalnika sta izmenjevalnika toplote z navpičnimi cevmi v obliki narobe obrnjene črke U. Reaktorsko hladilo teče skozi cevi s premerom 1.7 cm ter vstopa in izstopa na spodnjem delu uparjalnika. Para se ustvarja med cevmi in potuje navzgor skozi izločevalnik vlage in prek sušilnika pare na izhodni parovod. Število U cevi v uparjalniku je 5428, celotna površina prenosa toplote pa je 7177 m².

Tlačnik vzdržuje tlak v sistemu reaktorskega hladila. V njem segrevajo vodo električni grelci, paro pa kondenzira prsni sistem in s tem preprečuje porast tlaka nad določeno vrednost. Med obratovanjem reaktorja se namreč pojavljajo spremembe prostornine in tlaka hladila zaradi sprememb obremenitev, kar vpliva na temperaturo in gostoto hladila.

Ob morebitnih nezgodah, pri katerih odpove sistem reaktorskega hladila, se vključi sistem za zasilno hlajenje sredice, ki dobavlja dodatne količine vode.

Zamenjava uparjalnika (v letu 2000)

Ker so se tanke U cevi v starih uparjalnikih kvarile je bilo najbolj smotrno zamenjat oba uparjalnika. Nova uparjalnika so vstavili skozi montažno odprtino.

Zamenjava je bila v tehnološkem in logističnem smislu zelo zahtevna. Z zamenjavo uparjalnikov so dosegli:

- Povečanje moči za 6,3% (42MW)
- Povečanje letne proizvodnje za okoli 20%
- Varnostne izboljšave



Slika 28: Zamenjava uparjalnika

12.10 INSTRUMENTACIJA IN REGULACIJA:

Sistemi instrumentacije in regulacije so razdeljeni v štiri osnovne enote:

- regulacija moči reaktorja
- regulacija tlaka
- regulacija nivoja v tlačniku
- regulacija nivoja v uparjalniku

Ti sistemi so glede regulacije precej zahtevni, saj je treba nadzorovati in regulirati veliko fizikalnih veličin, ki so med seboj odvisne.

Naloga sistemov instrumentacije in regulacije jedrskega reaktorja je uravnavati toplotno moč reaktorja tako, da pridobivanje pare ustreza zahtevam turbine in generatorja. Električna moč je sorazmerna količini pare, ki vstopa v visokotlačni del turbine. Poleg tega mora biti zagotovljeno tudi varno obratovanje reaktorja. Sistemi so projektirani za avtomatsko regulacijo moči reaktorja v področju od 15 do 100 % nazivne moči. Do 15 % obremenitve pa se z reaktorjem upravlja ročno.

Naloga regulacijskega sistema je s kontrolnimi palicami vzdrževati programirano poprečno temperaturo reaktorskega hladila v mejah od 291,7°C do 306,9°C z odkloni $\pm 2^\circ\text{C}$. Kadar gre za majhna nihanja obremenitve, reaktor samodejno, brez posredovanja regulacijskega sistema, uravnava temperaturo hladila.

NEK ima tudi varovalni sistem reaktorja, ki preprečuje njegovo delovanje zunaj varnega območja. Deluje tako, da reaktor avtomatično ugasne, ko so prekoračeni določeni v naprej predpisani parametri. Območje varnega obratovanja določajo moč in mehansko-hidravlični ter

toplotni parametri: tlaki, temperature, pretoki, gladina kapljevine v tlačniku in uparjalnikih, ipd.

Parametre vseh regulacijskih sistemov nadzorujejo tipala, ki so povezana z analognimi vezji. Merilni kanal vsakega parametra ima dve do štiri enake veje, da je zagotovljena redundanca (podvojenost, potrojenost) signalov. Za ustavitev reaktorja morajo priti sočasni signali iz več vej. Vse te informacije se stekajo in prepletajo v komandni sobi, od koder operaterji nadzorujejo in vodijo pridobivanje električne energije in varnostne sisteme elektrarne.



12.11 TURBINA IN AGREGAT:

JE Krško (tlačnovodni reaktor) deluje na principu dveh zaprtih krogov tako, da reaktorsko hladilo ne prihaja v stik s pregreto paro, ki poganja turbino. V sekundarnem krogu (parni sistem, turbogenerator, kondenzacijski in napajalni sistem) kroži demineralizirana voda, ki se uparja v uparjalniku. Po koncu dela se kondenzira v štiridelnem kondenzatorju, napajalne črpalke pa vračajo kondenzat skoz grelnike v uparjalnik.

Turbina je sestavljena iz enega visokotlačnega in dveh nizkotlačnih delov. Skozi turbino, ki se vrti s 1500 obrati na minuto, steče vsako sekundo 1030 kg pare z vstopno temperaturo 275°C. Tlak pare se v visokotlačnem delu turbine zniža do tlaka 8,1 bar (0,8 MPa), nato pa se v dveh nizkotlačnih delih do kondenzacijskega tlaka (0,05 bar oz. 5 kPa). V kondenzatorju toploto oddaja reaktorju, voda pa iz Save nad pretočim jezo. Kapljevina, očiščena v sistemu za prečiščevanje kondenzata, se nato vrača v uparjalnik s pomočjo treh črpalk kondenzata.

Hladilna voda kondenzatorja se pri rečnih pretokih, večjih od 100 m na 3/s, vrača iz kondenzatorja naravnost v reko. Pri nižjih pretokih pa vključijo hladilne stolpe in del hladilne vode skoznje vračajo v kondenzator, tako da pri najmanjšem pretoku odvzamejo le 10 m na 3/s vode iz Save. Temperatura vode Save lahko po mešanju s hladilno vodo naraste največ za 3°C in ne sme preseči 28°C.

Turbina je neposredno spojena na trofazni sinhroni generator z močjo 813 MVA in napetostjo 21 kV. Stator generatorja hladi voda, rotor pa vodik. Napetost 21 kV transformirajo z dvema

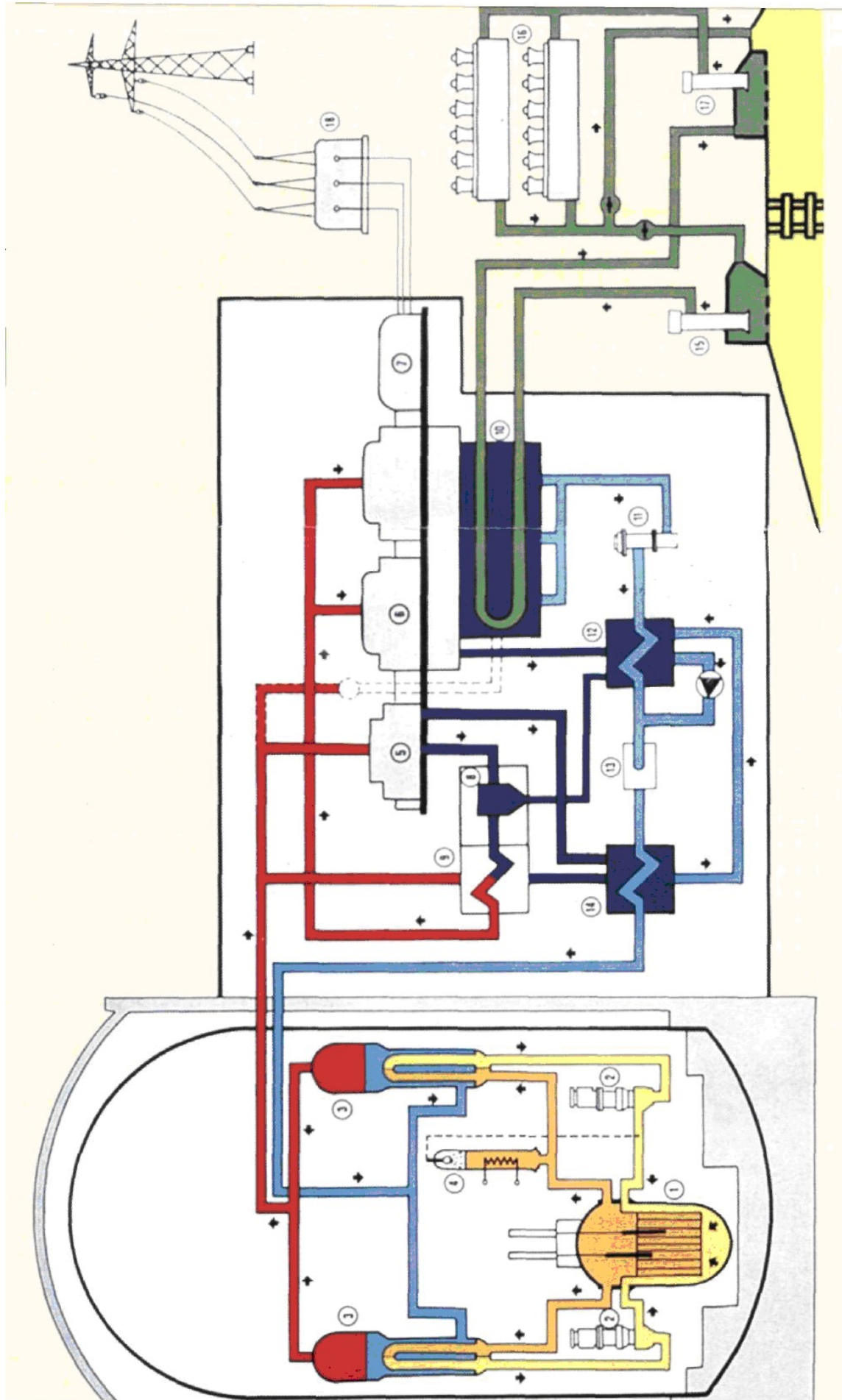
transformatorjema na 400 kV. Na ta dva transformatorja je priključen daljnovod. Napetost 6,3 kV napaja vse porabnike v JE Krško. Za varnost pomembne naprave dobijo ob izpadu jedrske elektrarne ter hkratnem razpadu 400 kV in 110 kV omrežja potrebno električno energijo za lastno rabo iz dveh dizelskih električnih agregatov.



Slika 30: Turbina in generator

Med remontom v letu 2006 se predvideva zamenjava nizkotlačnega dela parne turbine v Nuklearni elektrarni Krško, kar bo posledično pomenilo tudi dvig izhodne moči, za okoli 23 MW

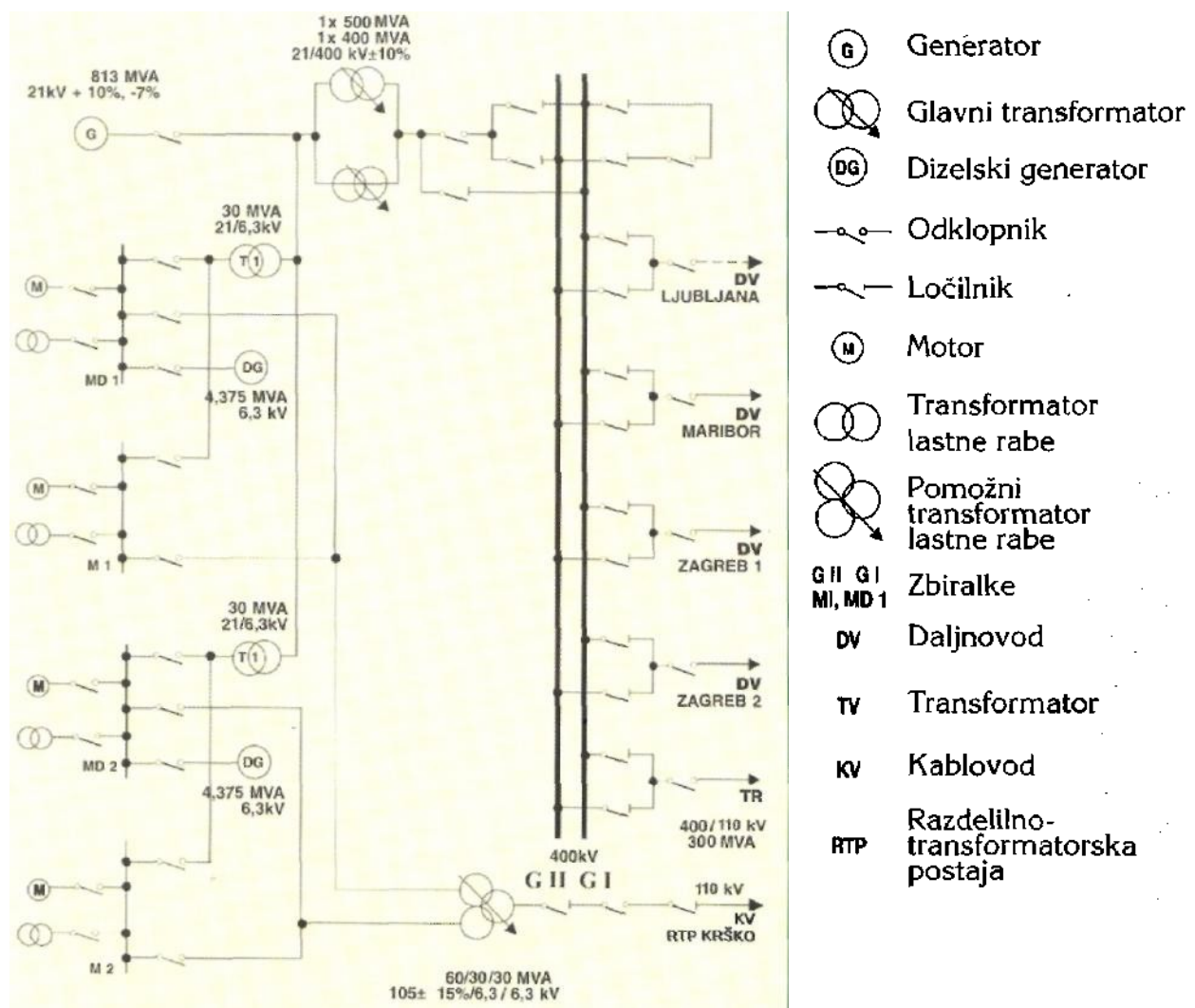
12.12 SHEMA ELEKTRARNE:



Slika 31: Shema elektrarne

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1- Reaktor | 10- Kondenzator |
| 2- Reaktorski črpalki | 11- Črpalka kondenzata |
| 3- Uparjalnika | 12- Nizkotlačni predgrelnik |
| 4- Tlačnik | 13- Napajalna črpalka |
| 5- Visokotlačna turbina | 14- Visokotlačni predgrelnik |
| 6- Nizkotlačna turbina | 15- Črpalka hladne savske vode |
| 7- Generator električnega toka | 16- Hladilni stolpi s celicami |
| 8- Ločevalnik vlage | 17- Črpalka hladilnih stolpov |
| 9- Predgrelnik pare | 18- Transformator. |

12.13 ENOPOLNA SHEMA:



Slika 32: Enopolna shema

12.14 NEK remont

Nuklearna elektrarna Krško (NEK) obratuje z 12-mesečnim obratovalnim ciklom, kar pomeni, da se vsako leto enkrat redno zaustavi z namenom, da se opravi remont.

Med vsakim remontom se izvedejo naslednje aktivnosti: zaustavitev elektrarne, menjava goriva; vzdrževanje strojne, elektro in instrumentacijske opreme; medobratovalni pregled opreme; testiranje/preizkušanje opreme in ponovni zagon elektrarne.

Elektrarna nenehno skrbi za varno in zanesljivo obratovanje, zato se na osnovi novih izkušenj in znanj med remontu izvajajo tudi določene modifikacije, ki obsegajo izboljšave, dopolnitve ali spremembe opreme in tehnoloških sistemov elektrarne, s katerimi se poveča varnost in zanesljivost obratovanja elektrarne.

Po zaključku projekta modernizacije elektrarne (menjava obeh uparjalnikov v letu 2000), ki je potekala dva meseca, je dolžina remonta za izvedbo zgoraj naštetih aktivnosti približno en mesec. Pri izvajanju remonta so prisotni tako domači kakor tudi tuji strokovnjaki, ki skrbijo za strokovno in kvalitetno izvedbo remontnih aktivnosti.

Uprava RS za jedrsko varnost s svojimi inšpektorji nadzira izvajanje remontnih aktivnosti ob podpori predstavnikov pooblaščenih organizacij.

12.15 TEHNIČNI PODATKI

1. ELEKTRARNA

Toplotna moč reaktorja.....	1994 MW
Električna moč na sponkah generatorja....	707 MW
Moč na pragu elektrarne....	676 MW
Tehnični minimum.....	32 MW
Toplotni izkoristek.....	34 %
Specifična poraba.....	2560 kcal/kWh

2. ZADRŽEVALNI HRAM

Jeklina lupina

Višina.....	71 m
Premjer.....	32,08 m
Debelina.....	0,038 m
Prostornina.....	42630 m ³
Preizkusni tlak jeklene lupine....	0,357 MPa

Medprostor

Širina.....	1,45 m
Podtlak....	80 Pa

Zaščitna armirano-betonska zgradba

Debelina....	0,76 m
--------------	--------

3. REAKTORSKA POSODA

Zunanji premer.....	3,69 m
Višina.....	11,9 m
Debelina stene.....	0,168 m
Teža prazne posode.....	327 t
Teža posode z notranjo opremo....	436 t

4. REAKTORSKO HLADILO

Snov.....	H ₂ O
Dodatek.....	H ₃ BO ₃
Skupni masni pretok....	9220 kg/s
Tlak.....	15,41 MPa
Celotna prostornina.....	197 m ³
Temperatura na vstopu v reaktor.....	287,5°C
Temperatura na izstopu iz reaktorja....	324,4°C
Število črpalk.....	2
Zmogljivost črpalke....	6,3 m ³ /s

- Moč motorja črpalke.....5,22 MW
- 5. UPARJALNIK**
- Material INCONEL 690 TT
- Število uparjalnikov.....2
- Tlak pare pri izstopu.....6,5 MPa
- Temperatura pare pri izstopu....280°C
- Temperatura napajalne vode pri vstopu.....219,4°C
- Masni pretok pare iz obeh uparjalnikov....1080 kg/s
- Višina uparjalnika.....20,6 m
- Teža uparjalnika.....335 t
- Število U-cevi v uparjalniku....5428
- Debelina U-cevi.....1,09 mm
- 6. SREDICA REAKTORJA**
- Ekvivalentni premer....2,45 m
- Ekvivalentna višina....3,66 m
- Razmerja H₂O/U v hladni sredici....2,23
- Število gorivnih elementov.....121
- Število gorivnih palic v gorivnem elementu....235
- Razporeditev gorivnih palic v elementu.....16 x 16
- Dolžina gorivnih palic....3,658 m
- Debelina srajčke.....0,572 mm
- Gradivo srajčke.....cirk.zlitina
- Kemična sestava goriva....UO₂
- Skupna količina urana....48,7 t
- Poprečna obogatitev urana....2,9 % U-235
- 7. REGULACIJSKE PALICE**
- Število regulacijskih svežnjev.....33
- Število absorpcijskih palic v svežnju.....20
- Celotna teža regulacijskega svežnja....52,15 kg
- Nevtronski absorber.....Ag-In-Cd
- Odstotna sestava.....80-15-5 %
- Premer.....8,36 mm
- Gostota.....10,16 g/cm³
- Debelina srajčke.....0,445 mm
- Materijal srajčke.....jeklo SS 304
- 8. TEH. VAR. NAPRAVE**
- Pasivni sistem za varnostno vbrizgavanje**
- Število tlačnih akumulatorjev.....2
- Prostornina vsakega akumulatorja....35,4 m³
- Aktivni sistem za varnostno vbrizgavanje**
- Visokotlačno varnostno vbrizgavanje:
- Število vodov....4
- Število Črpalk....2
- Pretok vsake črpalke....0,044 m³/s
- Nizkotlačno varnostno vbrizgavanje:
- Število vodov....2
- Število črpalk....2
- Pretok vsake črpalke....0,14 m na 3/s
- 9. TURBOAGREGAT**
- Nazivna moč....707 MW
- Pretok pare.....1090 kg/s

Vstopni tlak sveže pare....6,2 MPa
Temperatura sveže pare....275,5°C
Povprečna temperatura kondenzata.....33°C
Število obratov turbine..... 157 rad/s
Nazivna moč generatorja....813 MVA
Nazivna napetost.....21 kV
Nazivna frekvenca generatorja....50 Hz
Nazivni Cos f.....0,85
Regulacijsko področje..... +10 -7%

10. TRANSFORMATORJI

Glavna transformatorja:

Nazivna moč....1x 400 MVA
1x 500 MVA

Prestavno razmerje.....21/400 kV

Regulacija pod obtežbo....±10%

Kratkostična napetost....13/15%

Transformator lastne rabe:

Maksimalno dovoljena trajna moč....2 x 30 MVA

Prestavno razmerje.....21/6,3 kV

Kratkostična napetost.....10%

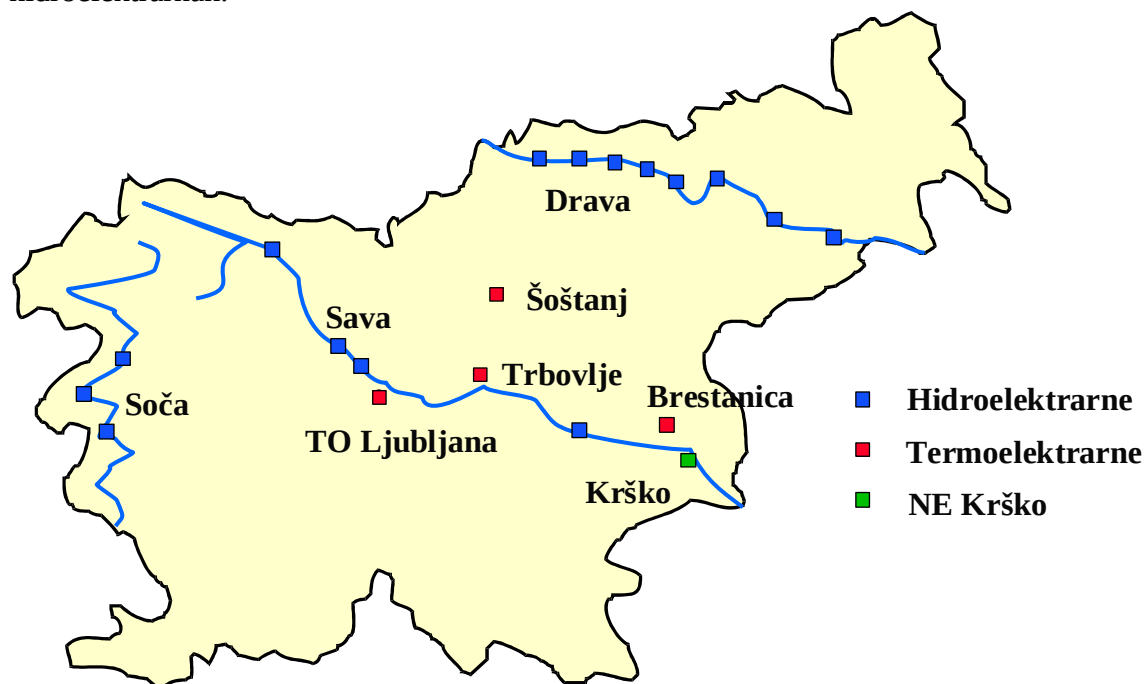
Pomožni TR lastne rabe:

Maksimalno dovoljena trajna moč....60 MVA

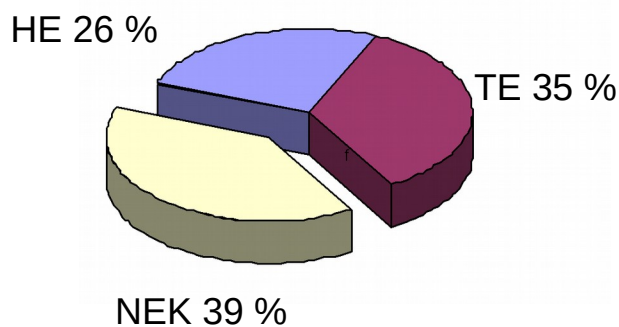
Prestavno razmerje.....105/6,3/6,3 Kv

13.0 PROIZVODNJA ELEKTRIKE V SLOVENIJI:

V Sloveniji elektriko proizvajamo v jedrski elektrarni Krško, v termoelektrarnah in v hidroelektrarnah.



Slika 33: Elektrarne v Sloveniji



Graf 5: Povprečna letna proizvodnja energije

Skupaj se proizvede okoli 13.000 GWh.

Opomba: Polovico elektrike NEK dobi hrvaška.

14.0 RADIOAKTIVNOST - Naravni pojav

Radioaktivnost je naravni pojav, ki je star kot vesolje. (Odkrit pa je bil pred dobrim stoletjem). Radioaktivno sevanje nastane pri razpadanju nestabilnih atomskih jeder, ali pri vrnitvi jeder iz vzbujenega v osnovno stanje.

Nekateri izotopi, ki imajo v jedru nesorazmerno veliko število protonov ali nevtronov, so nestabilni. Njihova jedra sama od sabo razpadejo in pri tem oddajajo ionizirajoče sevanje, ki ustvarja nabite delce (ione) v snovi, skozi katero prodira. Ta pojav imenujemo radioaktivnost. Radioaktivna jedra razpadajo na tri različne načine: alfa, beta in gama razpad, ob katerih se sprošča alfa, beta in gama sevanje.

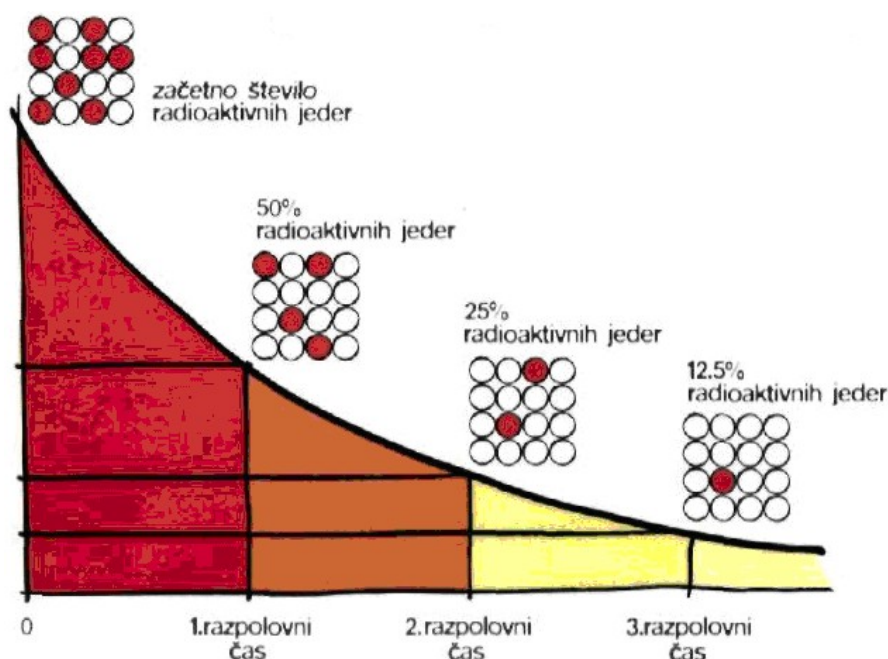
Sevanje alfa, ustavi že list papirja. Nevarno je če nas obseva od znotraj, torej če sevalec alfa pride v naše telo.

Sevanje beta, ustavi nekaj mm debela plast snovi. Poškoduje lahko kožo in oči.

Sevanje gama, je zelo prodorno in ga lahko znatno oslabi šele nekaj centimetrov svinca.

Poškoduje lahko tudi notranje organe.

Merilno upadanje radioaktivnosti je razpolovni čas. To je čas, v katerem razpade polovica začetnega števila radioaktivnih jeder. Po prvem razpolovnem času ostane še polovica začetnih jeder, po drugem četrtnina...



Graf 6: Upadanje radioaktivnosti s časom

14.1 Sevanje okolja:

Že od nekdaj smo izpostavljeni sevanju iz virov v okolju.

Letni prispevek iz naravnega okolja je 2,4 mSv.

Letni prispevek iz umetnih virov (medicina, industrija) je 1,4-1,5 mSv

Letni prispevek iz NEK je 0,01 mSv

Celotni prispevek černobilske nesreče je 0,72 mSv

Celotni prispevek dosedanjih jedrskih poskusov je 7,2 mSv

Polet iz Evrope v Ameriko prispeva okoli 0,05mSv

Zakonsko omejena letna doza za delavce v jedrski elektrarni je 50 mSv

V kratkem času po celotnem telesu prejeta doza 3000mSv lahko povzroči smrt.

Radioaktivno sevanje s pridom izkoriščajo v industriji, agronomiji in medicini za razne preglede.

15.0 VPLIV NA OKOLJE:

Jedrske termoelektrarne še desetletja ne bodo izgubile na svoji pomembnosti. Kratkoročno gre njihov razvoj v smer izboljšane varnosti delovanja sedanjih termičnih reaktorjev. Srednjeročno se strokovnjaki ukvarjajo z jedrskimi reaktorji, ki bodo imeli za gorivo izotope urana in drugih goriv, ki jih je dovolj v zemeljski skorji, npr. izkoriščanje urana ^{238}U namesto ^{235}U . Dolgoročno pa strokovnjaki stavijo na jedrsko fuzijo. Parna turbina še vedno ostaja nepogrešljiv pogonski stroj. Cilj ni samo boljše izkoriščanje primarne energije, ampak tudi manjša obremenitev okolja in varnejše obratovanje. Koristni proizvod jedrske elektrarne je električna energija, odpadni proizvod pa topla voda iz kondenzatorja in jedrski odpadki.

Jedrska elektrarna obremenjuje pri normalnem obratovanju precej manj kot klasična elektrarna na fosilna goriva. Pri jedrskih elektrarnah npr. ni izpustov velikih količin CO_2 , NO_x in SO_2 . Prav tako je ionizirano sevanje iz

elektrarn na premog večje kot iz jedrskih elektrarn. Dimni plini rjavega in črnega premoga nosijo tudi nekaj radioaktivnega radona, pepel pa vsebuje radioaktivne nukleide in predvsem α -žarke. Pri klasični elektrarni na premog moči 500 MW je ekvivalentna količina ioniziranega sevanja od 0,001 mSv₁ do 0,060 mSv. Pri jedrski elektrarni moči 1300 MW pa je v najneugodnejšem primeru med 0,001 mSv in 0,020 mSv.

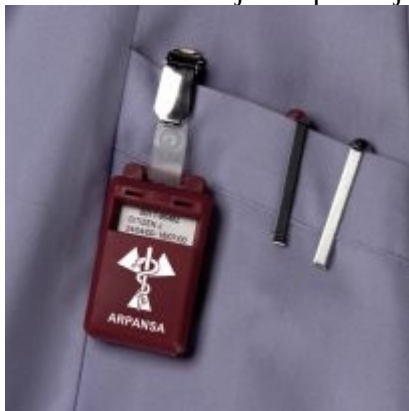
15.1 MERJENJE RADIOAKTIVNOSTI:

Radioaktivnega sevanja s svojimi čutili ne moremo zaznati. Odkrijemo pa ga po raznih učinkih na atome snovi, skozi katero prihaja.

Detektorji sevanja lahko zaznajo izredno nizke nivoje sevanja, bistveno nižje od tistih, ki so škodljivi za ljudi.

Radioaktivno sevanje izbija elektrone iz atomov ob svoji poti. Ta pojav se imenuje ionizacija. Zato je radioaktivno sevanje tudi ionizirajoče sevanje. Na principu posledic ionizacije pa temeljijo scintilacijski detektorji in dozimetri.

Dozimetri so naprave, ki merijo dozo prejetega sevanja. Ločimo več vrst dozimetrov: TLD dozimetri, dozimetri v obliki filma ali filmske emulzije, elektronski dozimetri. Za merjenje osebne doze se največ uporabljajo TLD dozimetri.



Slika 36: Termoluminiscenčni dozimeter (TLD)



Slika 37: Dozimeter v obliki prstana za merjenje doze na rokah

Dozo sevanja, ki je merilo obsevanosti človeka, merimo z enoto sievert (Sv). Običajno uporabljamo manjšo enoto $1\text{mSv} = 0,001\text{ Sv}$.

Radioaktivnost na Krškem polju stalno mirijo na več mestih v okolici elektrarne.



Slika 38: Merilna postaja

16.0 RADIOAKTIVNI ODPADKI:

Radioaktivni odpadki so snovi, katerih uporaba ni več možna ali smiselna, njihova specifična aktivnost, to je aktivnost na enoto prostornine, pa presega zakonsko določeno mejo.

Radioaktivni odpadki lahko nastanejo v različnih agregatnih stanjih: plinastem, tekočem ali trdnem. Po aktivnosti jih delimo na nizko, srednje ali visoko radioaktivne, glede na razpadni čas radioaktivnih izotopov, ki jih vsebujejo, pa jih delimo na kratkožive in dolgožive.

Radioaktivni odpadki sčasoma postanejo nenevarni, saj njihova radioaktivnost in s tem škodljivost s časom upada. Radioaktivnost večine nizko in srednje radioaktivnih odpadkov upade na raven naravnega ozadja po približno 300 letih. Visoko radioaktivni odpadki sevajo več tisočletij.

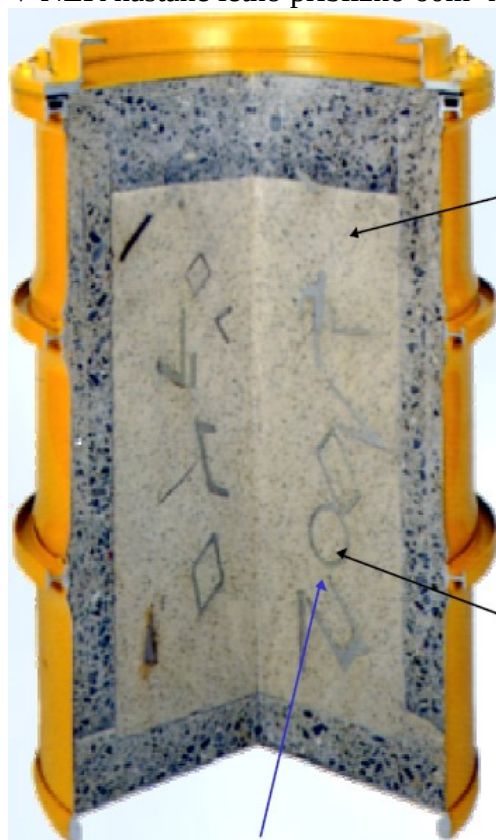
Nizko radioaktivni odpadki nastajajo med vzdrževalnimi deli. To so predvsem zaščitna oblačila, oprema in orodje, ki je v uporabi v radiološko onesnaženih prostorih. Nanje sedajo drobni radioaktivni delci, ki so zdravju škodljivi, če pridejo v telo. Odpadke odvržemo v kovinske sode. Njihovo prostornino lahko znatno zmanjšamo s pomočjo močnih stiskalnic. Manjši del RAO predstavljajo plinasti radioaktivni odpadki, ki jih izpuščamo skozi dimnik. Količino izpustov merimo in uravnavamo tako, da dopustna količina ni nikoli prekoračena.

Srednje radioaktivni odpadki so ostanki radioaktivnih nečistoč iz reaktorskega hladila jedrske elektrarne, ki se zbirajo v posebnih čistilnih filtrih. Spravimo jih v kovinske sode - enako kot nizko radioaktivne odpadke.

Visoko radioaktivni odpadki nastajajo v izrabljenem jedrskem gorivu. Njihova radioaktivnost je tako velika, da jih moramo spraviti nekaj metrov pod vodo, za debelo plast betona ali globoko pod zemljo. Zaradi radioaktivnega gretja jih moramo hladiti več let. V NE Krško imajo poseben bazen, v katerega shranijo približno 24 ton izrabljenega goriva na leto.



Slika 39: vsebina sode z nizko radioaktivnimi odpadki
V NEK nastane letno približno 60m³ nizko radioaktivnih odpadkov.



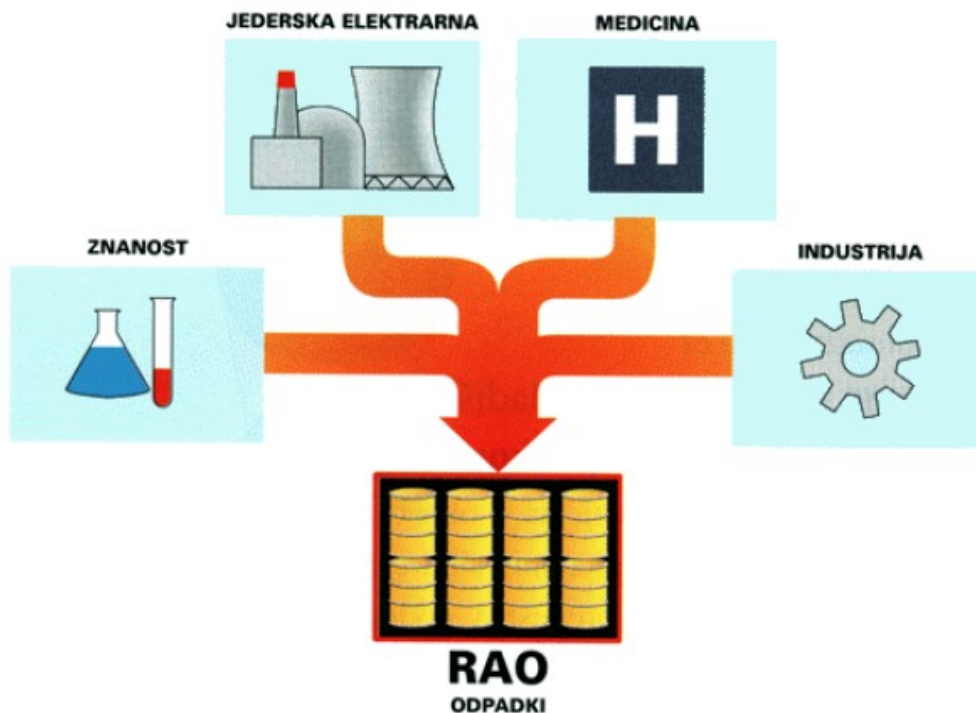
Betonski ščit

Ostanki filtrov za čiščenje reaktorske hladilne vode
Radioaktivni kovinski ostanki
Gošče, usedline...

Vse zalito v beton ali druga polnila
 Slika 40: Vsebina soda s srednje radioaktivnimi odpadki

V NEK nastane letno man kot 20m³ srednje radioaktivnih odpadkov.

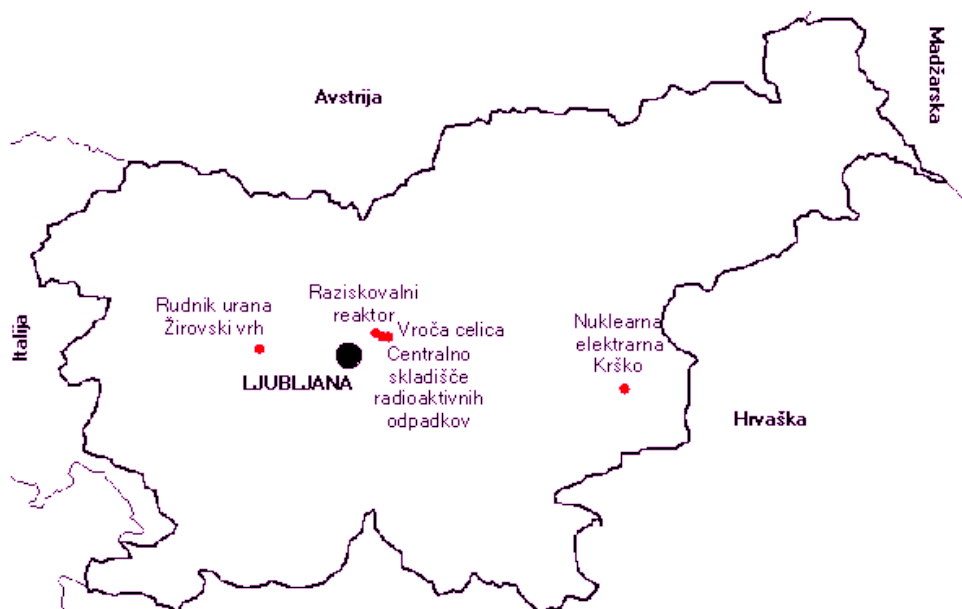
Slovenija ima sorazmerno malo radioaktivnih odpadkov. Konec leta 2003 smo imeli v Sloveniji vsega skupaj nekaj več kot 2300 m³ nizko in srednje radioaktivnih odpadkov. Kljub majhnim količinam potrebujemo za te odpadke trajno rešitev. Med državami z jedrskim programom je naša ena izmed redkih, ki še nima urejene trajne rešitve v zvezi s katerokoli vrsto radioaktivnih odpadkov.



Slika 41: radioaktivni odpadki

16.1 SKLADIŠČA RADIOAKTIVNIH ODPADKOV V SLOVENIJI:

- V Nuklearni elektrarni Krško je skladišče nizko in srednje radioaktivnih odpadkov ter bazen za izrabljeno gorivo,
- v Podgorici pri Ljubljani je prehodno skladišče nizko in srednje radioaktivnih odpadkov, ki niso nastali v JEK, ter skladišče izrabljenih gorivnih elementov raziskovalnega reaktorja TRIGA,
- v Zavrattu pri Idriji je zasilno začasno skladišče ostankov nezgode z izvorom radija, ki se je zgodila leta 1961 v ljubljanski bolnišnici,
- ob Rudniku Žirovski vrh pa sta dve odlagališči jalovine, ki jo štejemo med nizko radioaktivne odpadke.



Slika 42: Skladišča radioaktivnih odpadkov v Sloveniji

16.2 CENTRALNO SKLADIŠČE ZA RAO ODPADKE V BRINJU:

Radioaktivne odpadke, ki nastajajo v medicini, raziskovalni dejavnosti in industriji prevzema ARAO in jih hrani v centralnem skladišču radioaktivnih odpadkov v Brinju pri Ljubljani.



Slika 43: Centralno skladišče radioaktivnih odpadkov

Skladišče je začelo obratovati leta 1986 in se nahaja na območju Reaktorskega centra Instituta Jožef Stefan v Brinju.

Skladišče je delno vkopano v zemljo in prekrito s pol metra debelo plastjo zemlje.



Slika 44: Sodi z radioaktivnimi odpadki

17.0 ODLAGANJE IZRABLJENEGA JEDRSKEGA GORIVA:

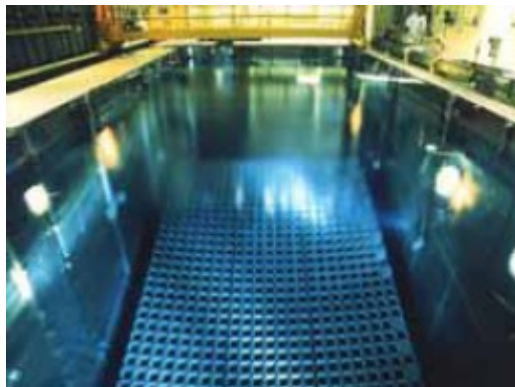
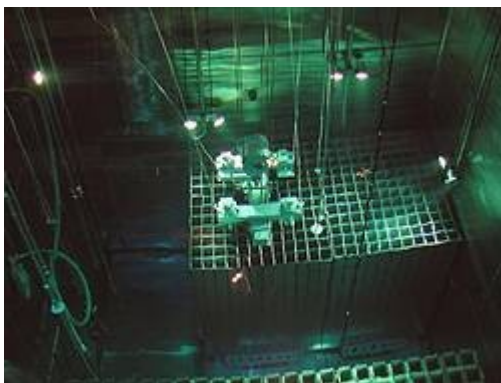
V Sloveniji se izrabljeno gorivo skladišči v bazenu, ki se nahaja v NEK. Prav tako se v NEK skladišči NSRAO.

Opomba:

Odlaganje: dokončna odstranitev odpadkov iz človekovega okolja brez namena vnovične uporabe. Za to poskrbimo z namestitvijo odpadkov v ustrezen objekt – odlagališče, ki ga ni potrebno varovati, le občasno nadzirati.

Skladiščenje: shranjevanje za določeno dobo.

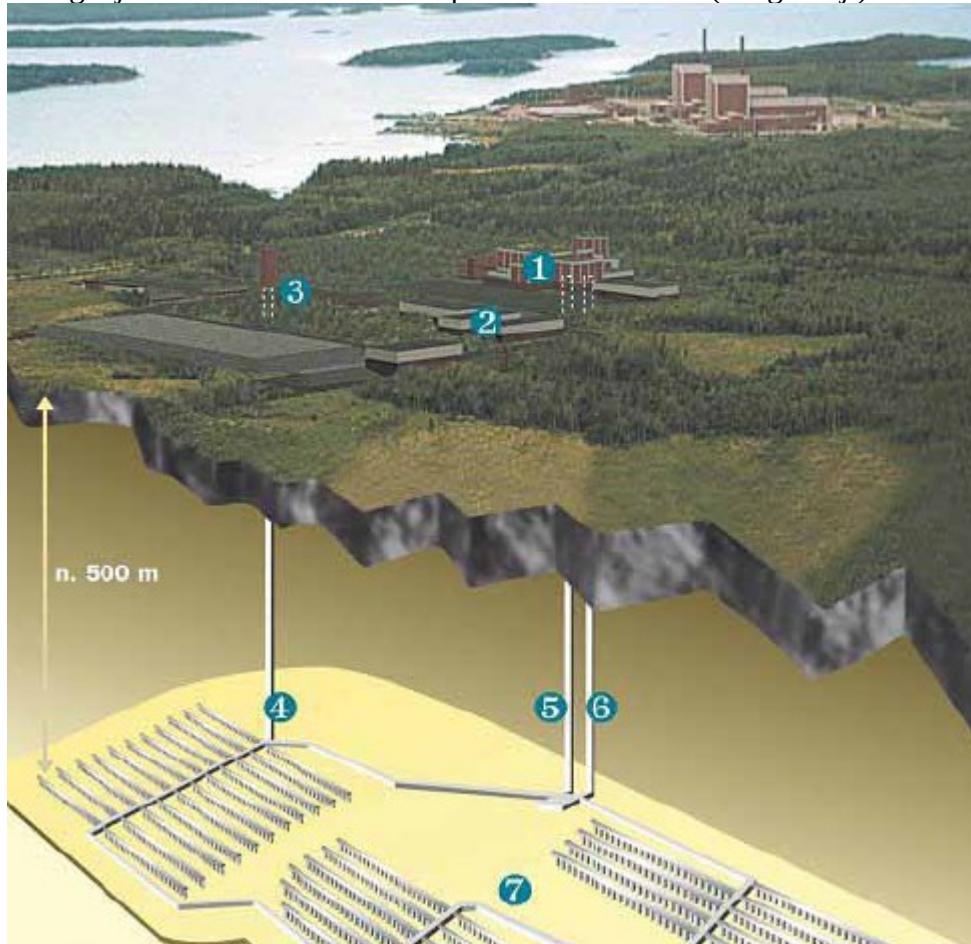
V Sloveniji še nimamo odlagališča!



Slika 45,46: Bazen za izrabljeno jedrsko gorivo.

Konec leta 2003 v bazenu, kjer je po izvedbi povečanja zmogljivosti zdaj na voljo 1694 pozicij, 707 izrabljenih gorivnih svežnjev

Odlaganje visoko radioaktivnih odpadkov na Finskem (v izgradnji)



Slika 47: Odlagališče VRAO na Finskem

- 1- obrat za polnjenje vsebnikov
- 2- skladišča
- 3- površinski del jaškov
- 4- pomožni jašek
- 5- transporti jašek
- 6- jašek za osebje
- 7- odlagalni rov

Najugodnejša rešitev je odlaganje v globoke geološke plasti. Odpadki so lahko v obliki stekla ali celo kot gorivni elementi, zaprti v korozijsko odpornih vsebnikih. Prvo odlagališče bo zgrajeno okoli leta 2020.



Slika 48: Vsebnik za izrabljene gorivne elemente. Zunanji del je iz bakra.

18.0 NESREČE V JEDRSKIH ELEKTRARNAH

V preteklosti se je ugodilo več nesreč v jedrskih elektrarnah s poškodbami jedrske sredici; med večjimi, ki so poznane javnosti, so: Calk River, Kanada (1947), Windscale, Velika Britanija (1951), Idaho, ZDA (1958), Lucens, Švica (1968), Three Mile Island, ZDA (1978) in Černobil, Ukrajina (1986).

Reaktorska sredica je bila popolnoma uničena samo pri zadnjih dveh, samo v primeru Černobila pa je sevanje v širokem obsegu prodrlo v okolico in doseglo največje vrednosti 300 do 500 mSv. Konstrukcija jedrskega reaktorja v Černobilu je v marsičem posebna in je poznana samo v nekdanji Sovjetski zvezi: moderator je grafit, hladilna snov pa voda. Manka na primer tlačna posoda in sistem za hitro izklapljanje delovanja reaktorja. Dinamično obratovanje reaktorja je nestabilno še posebej pri delnih obremenitvah; stabilnost obratovanja reaktorja ni odvisna od same zasnove reaktorja (tako kot npr. pri tlačnovodnih reaktorjih, ampak mora za njo skrbeti kompliciran regulacijski sistem. Nesrečo je povzročilo – če odštejemo težke napake, ki jih je zagrešilo osebje – bistveno pomanjkanje varnostnih in tehničnih rešitev že pri sami konstrukciji reaktorja. Černobilska nesreča je postala pomemben mejnik in mnogi, ki so bili dotlej do uporabe jedrske energije brezbrizni, so po nesreči postali zagrizeni nasprotniki uporabe te vrste energije. Laična javnost je postala “po Černobilu” tako črnogleda, da mnenju in trditvam strokovnjakov, ki obvladujejo to področje, ne verjame.

19.0 ZAKLJUČEK

Jedrska energija se je izkazala za zelo učinkovito energijo za proizvodnjo elektrike. Z majhno količino goriva lahko proizvedem zelo velike količine uporabne energije. Njen največja prednost je po mojem mnenju zelo majhen direktni učinek na kakovost okolja, saj razen odvečne tople vode v okolico ne oddaja nobenih drugih škodljivih snovi. Največja slabost pa je možnost jedrske nesreče, ki v najslabšem primeru lahko močno ogrozi širše okolje. Da to nesreč ne bi prišlo, si bo v bodoče potrebno prizadevati za čimbolj izpopolnjene nove jedrske elektrarne in za preureditev obstoječih, kjer je to ekonomično sprejemljivo, ali pa kjer je to okoljsko potrebno. Pomemben faktor v sedanjosti in v bodoče bo tudi naravnost javnosti proti jedrski energiji, saj si je predvsem po nesreči v Černobilu pridobila zelo negativni predznak. Verjetno bo potrebno veliko storiti v smeri ozaveščanja ljudi o prednostih in slabostih jedrske energije.

20.0 VIRI:

Dr.- Viktor Dimic: Električna iz jedrskih elektrarn, 1995

Radko Istenič; Igor Jenčič... Mala enciklopedija jedrske energije, 2005

Milan Čopič; Zdravko Gabrovšek- Nuklearna elektrarna Krško, 2004

Slikovni atlas jedrske tehnologije

<http://www.icjt.org>

<http://sl.wikipedia.org/wiki>

<http://www.sigov.si/ursjv/si/>

http://www.pfmb.uni-mb.si/tehnika/vsebina/projekti/energetika/objekti_za_pretvarjanje_merjenje_in_obnovljivi_viri_energije.html#JEDRSKA%20TERMOELEKTRARNA

<http://www2.arnes.si/%7Egngjvege1s/TIMKO/t0001/badmani/VSEBINA2.htm>

<http://www.sigov.si/arao/>

<http://www.icjt.org/tech/software/html/fld/fld1.htm>

<http://www2.arnes.si/~sspskodb/JE.htm>

http://www.gov.si/ursjv/si/por_pris/letna_porocila/2000/2_1_3.php

<http://www.ursjv.gov.si/index.php?id=jsobjekti>

http://www.sigov.si/ursjv/si/avto_mon/index.php?page=ZunanjeSevanje.php