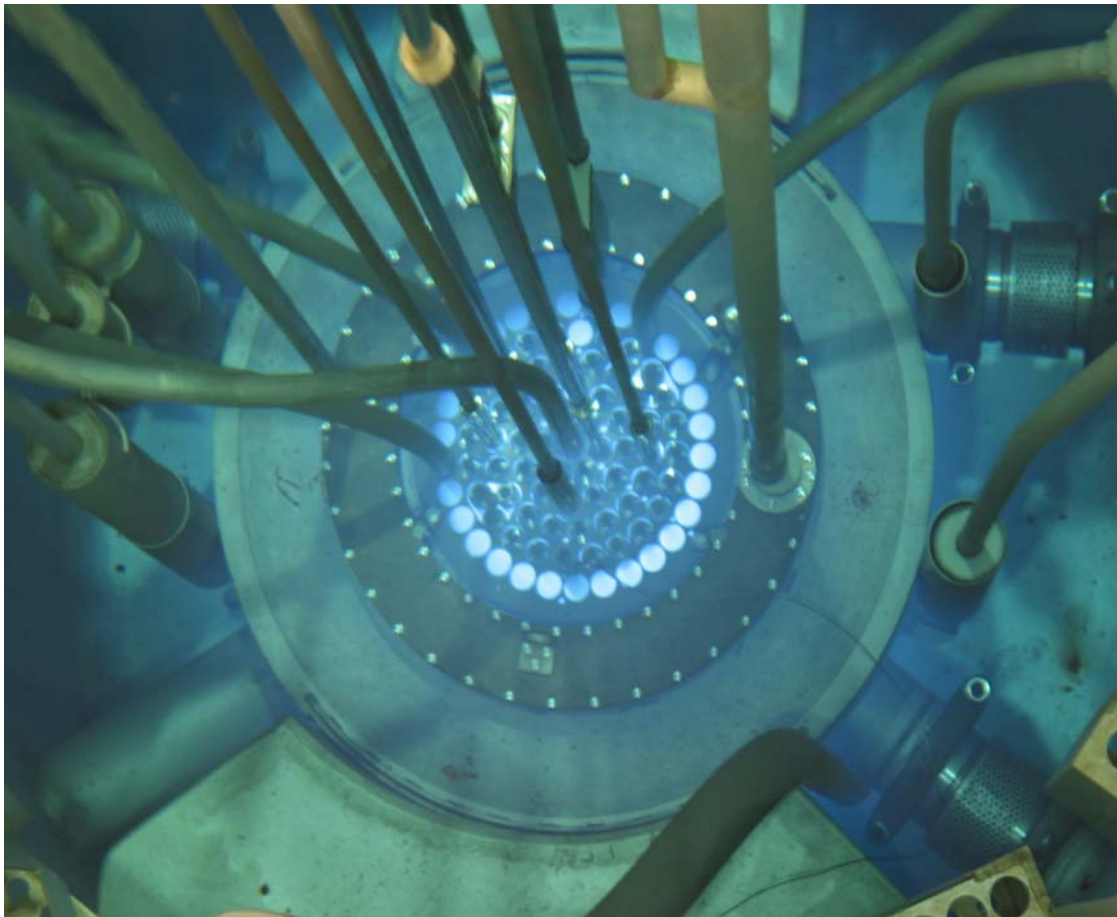


---

Luka Snoj  
Andrej Trkov

## OPIS REAKTORJA TRIGA



Ljubljana, oktober 2012

revizija 0

---

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za matematiko in fiziko  
Jedrska tehnika  
Tehnika jedrskega reaktorja

Prejšnje izdaje:

1. izdaja 1986, avtorji: *Milan Čopič, Viktor Dimic, Ludvik Lipič, Gvido Pregl, Jože Rant*
2. izdaja februar 2007, avtorji: *Matjaž Ravnik, Luka Snoj, Darko Kavšek*

Revizija: 0

1. izdaja, oktober 2012

Avtorji: *Luka Snoj, Andrej Trkov*

Shranjeno v datoteki: *01\_opis\_reaktorja\_TRIGA.doc*, zadnjič shranjen 5.10.2012 14:54:00

Tiskano: 5.10.2012 14:54:00

## KAZALO

1	OPIS REAKTORJA TRIGA MARK II.....	4
2	LOKACIJA.....	4
3	TEHNIČNE KARAKTERISTIKE.....	4
4	VARNOST JEDRSKEGA OBJEKTA .....	6
5	LITERATURA .....	8
6	PRILOGE .....	8

# 1 OPIS REAKTORJA TRIGA Mark II

Pričujoči opis reaktorja TRIGA je izveček iz Varnostnega poročila za reaktor TRIGA Mark II v Podgorici (Revizija 4)

Reaktor TRIGA MARK II je majhen raziskovalen reaktor, ki se uporablja kot izvor nevtronov pri eksperimentih, za obsevanje vzorcev za potrebe Instituta in zunanjih naročnikov in za šolanje in usposabljanje kadrov na področju jedrske tehnologije.

Reaktor obratuje stacionarno ali pulzno. Maksimalna toplotna moč v stacionarnem obratovanju je 250 kW, maksimalni nevtronski fluks pa je  $10^{13}$  n  $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . V pulznem načinu obratovanja je maksimalna moč večja za več redov velikosti (1000 MW ali več), a zaradi kratkega trajanja pulza (nekaj ms) sproščena energija ne presega nekaj 10 MWs.

Značilnost reaktorja je gorivo, ki je trdna zmes urana in cirkonijevega hidrida. Prenese visoke temperature do okoli 1000 °C in ima velik negativni temperaturni koeficient reaktivnosti. Zaradi specifičnih lastnosti goriva in nizkih toplotnih obremenitev je reaktor popolnoma varen. Niti izguba vsega hladila niti (nekontroliran) izvek vseh kontrolnih palic ne privedeta do poškodb goriva ali sproščanja radioaktivnih produktov zgorevanja.

Stabilnost in inherentno varnost reaktorskih sistemov TRIGA so potrdile dolgoletne izkušnje z reaktorji TRIGA. Danes obratuje 52 reaktorjev TRIGA, nabralo se je več kot 600 let obratovalnih izkušenj in več kot 50000 let obratovanja gorivnih elementov.

Reaktor je bil zgrajen leta 1966 in prvotno opremljen samo za stacionarno obratovanje, leta 1991 pa je bil rekonstruiran tudi za pulzno obratovanje. V tem obdobju je reaktor obratoval vsako leto cca. 7000 ur brez kakršnih koli nezgod in tehničnih težav.

## 2 LOKACIJA

Reaktor je v severovzhodnem primestnem območju Ljubljane na levi strani reke Save. V najbližji okolici so samo kmetijske površine, znotraj kroga s premerom 2 km pa živi 3000 ljudi. Splošne meteorološke razmere so podobne razmeram za vso ljubljansko kotlino in se merijo na postaji Ljubljana - Bežigrad. Meteorološka postaja na lokaciji meri in beleži vrednost in smer vetra 10 m od tal in temperaturo zraka 2 m od tal. 800 m južno od reaktorja teče reka Sava. Talna voda pronica proti jugovzhodu, njena gladina pa je približno 10 m pod površino tal. Najbližji črpališči ljubljanskega vodovoda sta 4 odnosno 7 km severozahodno. Vasi Beričevo in Brinje, ki ležita v smeri pronicanja talne vode, se oskrbujeta s pitno vodo iz ljubljanskega vodovodnega omrežja. Ljubljanska kotlina je tektonsko aktivna. Najhujši potres je bil leta 1895 z jakostjo 9 MeS. Najhujše je bilo prizadeto območje ob glavni tektonski prelomnici, ki poteka skozi Ljubljano v smeri Ig - Vodice. Reaktor se nahaja na severnem delu ljubljanske kotline, kije manj aktiven. Oddaljen je 9 km severovzhodno od epicentra zgoraj omenjenega potresa. Vse stavbe Reaktorskega centra so bile zgrajene v skladu s predpisi za gradnjo na potresnih območjih .

## 3 TEHNIČNE KARAKTERISTIKE

Reaktor TRIGA MARK II je bazenski reaktor. Sredica je nameščena v zgoraj odprti vertikalni aluminijasti posodi višine 6,25 m in premera 2 m, napolnjeni z demineralizirano

vodo (Slika 7.1). Voda je istočasno moderator, hladilo in biološki ščit. Posoda je nameščena v betonskem biološkem ščitu maksimalnih dimenzij: dolžine 8,2 m, širine 6,6 m in višine 6,55 m. Takšna konstrukcija omogoča dostop do sredice z vrha reaktorske ploščadi, kar zelo poenostavi menjavo goriva in instalacijo vertikalnih eksperimentalnih kanalov. Horizontalnih eksperimentalnih kanalov je šest: velika in mala termalna kolona, dva tangencialna kanala, eden na sredico, drugi na reflektor, ter dva radialna kanala, eden do sredice, drugi do reflektorja (Slika 7.2). Ti kanali so stopničaste cevi, vgrajene v betonskem ščitu. Mala termalna kolona vodi v večji zaščiten eksperimentalni prostor, imenovan suha celica. Reaktor se nahaja v osmerokotni reaktorski zgradbi prostornine 6000 m<sup>3</sup>. Za prezračevanje in ogrevanje skrbi prezračevalni sistem, ki vzdržuje tudi podtlak v reaktorski zgradbi.

Sredica in reflektor tvorita aluminijasto valjasto konstrukcijo premera 109 cm in višine 58 cm (Slika 7.3). Sredica je vpeta med zgornjo in spodnjo rešetko, ki sta prikazani na Slikah 7.4 in 7.5. Zgornja rešetka ima premer 49.5 cm, spodnja pa 42 cm. V za to posebej predvidene izvrtine v rešetkah so nameščeni gorivni elementi, kontrolne palice in vertikalni eksperimentalni kanali. Okoli sredice je grafitni reflektor (Slika 7.7) v katerem je nameščen še vrtiljak (Slika 7.8) za obsevanje vzorcev. Dimenzije aktivnega dela sredice so 440 x 381 mm. Gorivni elementi (Slika 7.6) so palice premera 37,4 mm in dolžine 720 mm. Gorivna palica je zaprta cev iz nerjavnega jekla, v katero je med dva grafitna valja vstavljeno gorivo. Gorivo je trdna homogena zmes obogatene urana in cirkonijevega hidrida. Glede na obogatitev in vsebnost urana v gorivu ločimo več tipov gorivnih elementov: standardne elemente z 20 % obogatitvijo in 8.5 ali 12 utežnimi % urana, LEU elemente z 20 % obogatitvijo in 20 ut. % urana in FLIP-e s 70 % obogatitvijo in 8.5 ut. % urana. Atomsko razmerje vodik/cirkonij v cirkonijevem hidridu je med 1,6 in 1,7. Nekateri gorivni elementi vsebujejo tudi gorljive strupe.

V sredici so tri kontrolne palice z gorivnimi podaljški in pulzna ali tranzientna palica z votlim podaljškom. Absorpcijski material je borov karbid. Kontrolna palica z gorivnim podaljškom in pulzna palica sta prikazani na Sliki 7.9.

Hlajenje sredice (Slika 7.10) zagotavlja naravni obtok primarne vode, to je vode v reaktorski posodi, skozi sredico. Primarna voda se preko toplotnega izmenjevalnika hladi s sekundarno vodo, ki doteka iz vodnega stolpa. Voda za zasilno hlajenje sredice doteka po cevovodu, ki je pri vstopu v reaktorsko halo preko zapornega ventila priklopljen na cevovod iz vodnega stolpa.

Instrumentacija reaktorja sestoji iz jedrske instrumentacije, sistema za upravljanje reaktorja in varovalnega sistema. Shematično so ti sistemi prikazani na Slikah 7.11, 7.14 in 7.15. Jedrska instrumentacija meri moč in periodo reaktorja. Instaliranih je pet merilnih kanalov. Njihova merilna območja so prikazana na Sliki 7.12, položaj detektorjev pa na Sliki 7.13. Startni kanal meri nevtronski fluks v podkritičnem stanju in na nizki moči, logaritmični kanal meri procent moči in reaktorsko periodo na celotnem območju moči, linearni in varnostni kanal pa merita moč, kadar je večja od 1 W (Slika 7.12). Sistem za upravljanje reaktorja kontrolira pogon kontrolnih palic. Vsako kontrolno palico poganja elektromotor preko zobniškega prenosa in elektromagnetne sklopke. Detajl pogonskega mehanizma kontrolnih palic je narisano na Slikah 7.16, 7.17 in 7.18. Ob prekinitvi električnega napajanja kontrolne palice pod vplivom lastne teže padejo v sredico. Sistem omogoča zagon, obratovanje na želeni moči in ugasnitev reaktorja. Zagon in ugasnitev sta ročna, obratovanje na moči pa ročno ali avtomatsko. Na signal hitre ugasnitve sistem avtomatsko ugasne reaktor tako, da prekine napajanje elektromagnetnih sklopk vseh kontrolnih palic. Varovalni sistem generira signal hitre ugasnitve (Tabele 7.1, 7.2 in 7.3) in ga posreduje sistemu za

upravljanje, kadar so presežene vnaprej določene nastavitvene točke parametrov, pomembnih za varno obratovanje. Najvažnejši parametri so prenizek nevtronski fluks ob zagonu, presežena maksimalna ali zahtevana moč, prekratka perioda ter previsoka temperatura goriva in primarne vode, ki ju merijo merilniki temperature. Možna je tudi ročna hitra ugasnitev.

Na delovanje reaktorja močno vpliva velik negativni temperaturni reaktivnostni koeficient goriva (Slika 7.19). Defekt moči pri nominalni moči 250 kW, kjer je temperatura goriva okoli 200°C, znaša približno 0,9 %  $\Delta k/k$ . Ravnovesna vrednost zastrupitve s ksenonom znaša približno 1 %  $\Delta k/k$  (Slika 7.20). Za obratovanje reaktorja zato zadošča presežna reaktivnost hladne in nezastrupljene sredice okoli 2,1 %  $\Delta k/k$ , kar zagotavlja tudi nujno obratovalno rezervo.

Pri delovanju reaktorja nastajajo naslednji pomembnejši radioaktivni odpadki: obsevano gorivo, kontaminirana primarna voda, radioaktivni plin argon in razni aktivacijski produkti v zvezi z eksperimentalnim delom pri reaktorju. Obsevane gorivne elemente hranimo krajši čas v stojalih, pritrjenih ob steno reaktorske posode. Pozneje jih premestimo v shrambo gorivnih elementov, ki je v kleti reaktorja. Primarno vodo, ki je kontaminirana s korozijskimi produkti, čistimo z ionsko kolono. Radioaktivni argon nastaja z aktivacijo zraka v votlinah, ki so blizu sredice. Te votline so priključene na argonski sistem, ki izpihuje argon skozi dimnik na prosto. Radioaktivno smolo iz ionske kolone in radioaktivne odpadke, nastale ob eksperimentalnem delu, hranimo v Republiškem prehodnem skladišču nizko in srednje radioaktivnih odpadkov ki je na isti lokaciji. Jakost sevanja v reaktorski zgradbi merimo na 12, v prezračevalnem sistemu pa na treh lokacijah. Merimo tudi radioaktivnost sekundarne hladilne vode ob izpustu v kanalizacijo. Detektorji sevanja so vezani na avtomatski alarmni sistem. Vzpostavljen je program nadzora radioaktivne kontaminacije, po katerem merimo koncentracijo radioaktivnih izotopov v zraku in površinsko kontaminacijo v reaktorski zgradbi. Vzpostavljen je tudi nadzor kontaminacije okolja reaktorja, ki obsega meritve zunanega sevanja na stalnem kontrolnem mestu ter naslednje meritve koncentracije radioaktivnih izotopov: suhi used iz zraka, padavine, zemlja in izpuh prezračevalnega sistema, vse znotraj ograde objekta, razen tega pa še vodo iz vodnjaka in savski sediment. Nadzor radioaktivnosti izvaja institutska Služba varstva pred ionizirajočimi sevanji, ki je organizacijsko ločena od pogona reaktorja.

Varnostna analiza je pokazala, da je nivo radioaktivnosti v reaktorski zgradbi in v okolici zgradbe pri obratovanju reaktorja daleč pod zakonsko dovoljenimi vrednostmi, kar potrjujejo tudi meritve. Razen tega je bila narejena tudi analiza štirih izrednih dogodkov: popolno uničenje gorivnega elementa med transportom, poškodba srajčke gorivnega elementa med obratovanjem reaktorja, izguba primarne vode in nehoteno povečanje reaktivnosti. Za uničenje gorivnega elementa se izkaže, da znaša obremenitev ščitnice v življenjski dobi prizadetega, oddaljenega 100 m od reaktorja, 0,6 do 1,2 cSv, obremenitve drugih organov pa so tisočkrat manjše. Pri poškodbi srajčke je maksimalna obremenitev samo 3  $\mu$ Sv. Nehoteno povečanje reaktivnosti in izguba primarne vode ne dovedeta do nobenih obremenitev okolja, ker ne pride do poškodb goriva. Do znatnega dviga radioaktivnosti bi torej prišlo le pri popolnem uničenju sredice. Tudi v tem primeru pa so doze veliko manjše od maksimalnih dopustnih za posameznike iz prebivalstva.

## **4 VARNOST JEDRSKEGA OBJEKTA**

Sredica reaktorja je v reaktorski posodi, nad sredico je 6 m demineralizirane vode. Voda v reaktorski posodi je moderator, poleg tega štiti okolico pred radioaktivnim sevanjem sredice in odvaja toploto iz sredice. V sredici reaktorja sproščena toplota se z naravno konvekcijo prenese na vodo v reaktorski posodi in v toplotnem izmenjevalniku na vodo v sekundarnem hladilnem krogu.

Reaktor TRIGA Mark II prav tako kot drugi reaktorski sistemi TRIGA nima zadrževalnega hrama. Reaktorska hala je projektirana in zgrajena po istih standardih kot enako velike industrijske hale. Več pozornosti je namenjeno tesnjenju. Ker imajo reaktorski sistemi TRIGA velik takojšnji negativni temperaturni koeficient reaktivnosti, gorivo majhen koeficient sproščanja radioaktivnih plinov in hlapljivih izotopov in ker gorivo ne reagira z vodo, tesna reaktorska zgradba prepreči ob nezgodah nedopustno sproščanje radioaktivnih snovi v okolico.

Inherentno varnost reaktorskih sistemov TRIGA zagotavlja velik takojšen negativen temperaturni koeficient reaktivnosti goriva. Ta mehanizem, ki ni odvisen od nobene elektronske, električne ali mehanske naprave, varno ugasne reaktor ob nehotenih (nezgodnih) in namernih tranzientih reaktivnosti (pulziranje). Če temperatura goriva naraste, ta koeficient promptno kompenzira presežek reaktivnosti, s tem omeji tranzient moči reaktorja in končno ustali moč reaktorja znotraj intervala normalnih obratovalnih pogojev.

Negativni temperaturni koeficient reaktivnosti omejuje tudi največjo moč, ki se da doseči v stacionarnem obratovanju. Za reaktor TRIGA Mark II v Podgorici je v stacionarnih pogojih zgornja meja moči 550 kW (v poglavju 3.2.1.3 Varnostnega poročila za reaktor TRIGA MARK II v Podgorici pa ugotavljamo, da obratovanje reaktorja na močeh do 1000 kW ne ogrozi integritete gorivnih elementov).

Ne glede na to, da dvig vseh treh kontrolnih palic iz sredice ne povzroči reaktorju in okolici nobene škode, ima reaktor TRIGA Mark II v Podgorici pet neodvisnih merilnih sistemov, ki sprožijo hitro ugasnitev reaktorja, ko moč preseže projektno (250 kW). Prav tako impulz reaktivnosti, po velikosti enak celotni vrednosti pulzne palice reaktorja TRIGA v Podgorici, nima škodljivih posledic za reaktor in okolico. Upoštevajoč lastnosti goriva in izvedbo varovalnih in varnostnih sistemov reaktorja pa si je težko zamisliti realen scenarij za takšno nezgodo.

V reaktorskih sistemih TRIGA je nekaj materialov, ki lahko pod določenimi pogoji reagirajo z vodo. Nevarna je samo eksplozivna reakcija med raztaljenim cirkonijem in vodo, vendar v reaktorskih sistemih TRIGA pogojev za to reakcijo ni možno ustvariti. Najprej bi morali doseči popolno dehidracijo cirkonijevega hidrida, nato taljenje cirkonija. Srajčka gorivnega elementa pa tlaka vodika, ki se sprosti pri popolni dehidraciji, ne prenese, mnogo prej počí. Voda pride torej v stik z delno dehidriranim trdnim cirkonijevim hidridom in ne z raztaljenim cirkonijem.

O sproščanju plinastih in lahko hlapljivih razcepkov iz goriva reaktorjev TRIGA, ko se srajčka poškoduje, je v literaturi dovolj zanesljivih podatkov. Delež celotne aktivnosti plinastih in lahkohlapljivih razcepkov v reži je manjši od  $1,5 \times 10^{-5}$ , delež celotne aktivnosti, ki izhlapi iz goriva, je manjši od  $7 \times 10^{-5}$ .

Gorivo reaktorjev TRIGA torej dobro zadržuje plinaste in lahko hlapljive radioaktivne izotope. Halogeni elementi se raztopijo v primarni vodi in ne izhlapijo v okolico. Izotopi ksenona in kripton, ki so v vodi netopljivi, izhlapijo v reaktorsko halo in povzročé v hali hitrost doze  $5 \times 10^{-5}$  cSv/h ob poškodbi srajčke enega elementa.

V Varnostnem poročilu sta obdelani in analizirani dve možni nezgodi, ki bi lahko dovedli do pregrevanja goriva:

- nenaden iztok primarne vode iz reaktorske posode
- nehoteno povečanje reaktivnosti, ki je enako presežni reaktivnosti nezastrupljene sredice.

V obeh primerih temperatura goriva in temperatura srajčke ne dosežeta mejne varne temperature, to je temperature, pri kateri tlak vodika v gorivnem elementu ogrozi integriteto srajčke .

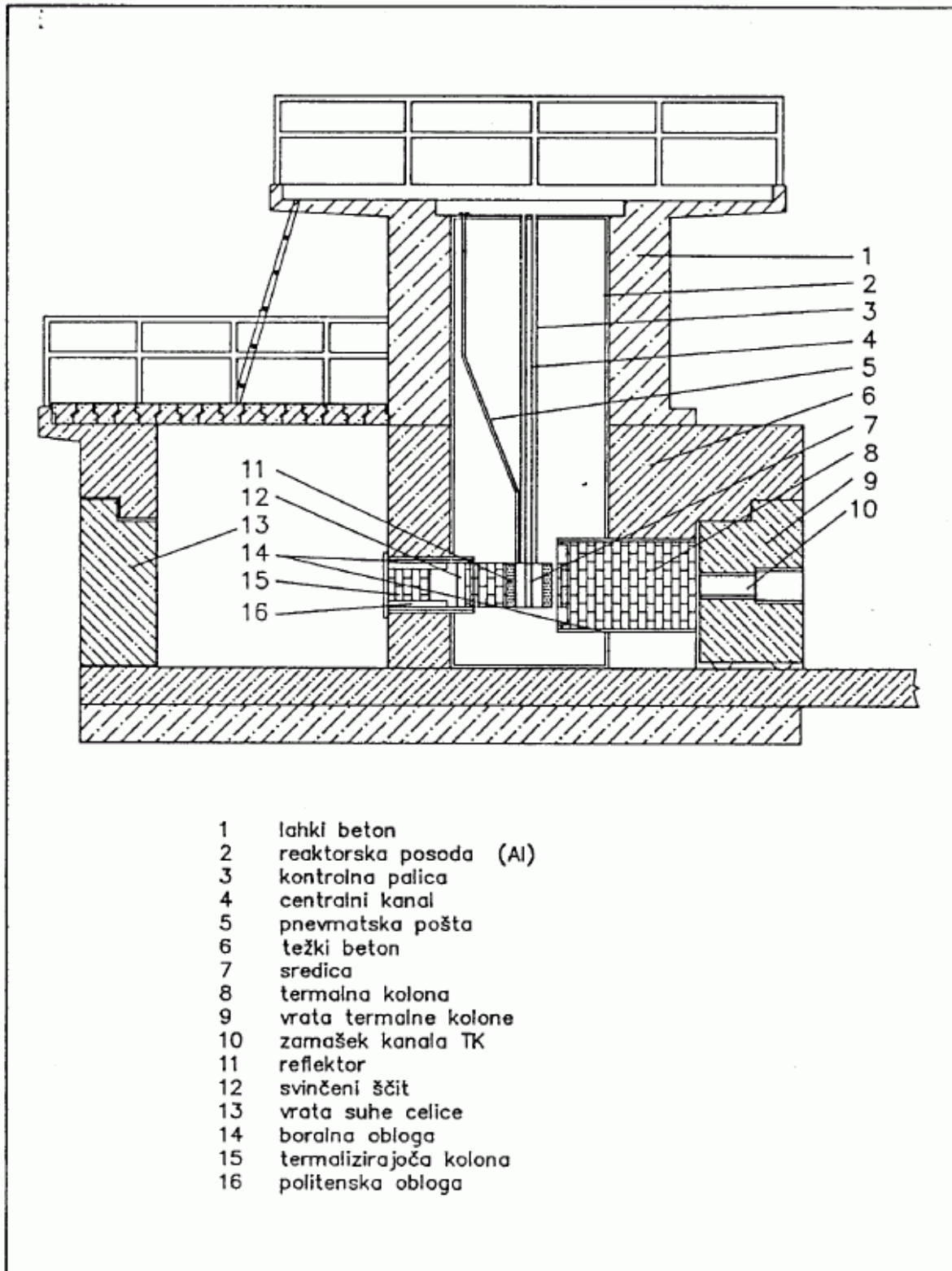
Ob izgubi primarne vode pa lahko ogrozi okolico radioaktivno sevanje iz nepokrite sredice. Če primarna voda izteče iz reaktorske posode, reaktor ugasne. Radioaktivno sevanje nepokrite sredice, ki se siplje na stropu reaktorske hale, za nekaj ur onemogoči vstop v reaktorsko halo in na ploščad reaktorja. Reaktor TRIGA v Podgorici ima zato dva neodvisna avtonomna merilna sistema za nadzor gladine vode v reaktorski posodi in cevovod za dotekanje vode v reaktorsko posodo ob izrednih dogodkih, ki se aktivira iz varne razdalje. Masni tok v tem cevovodu je za 20 % večji od največjega možnega puščanja reaktorske posode.

## **5 LITERATURA**

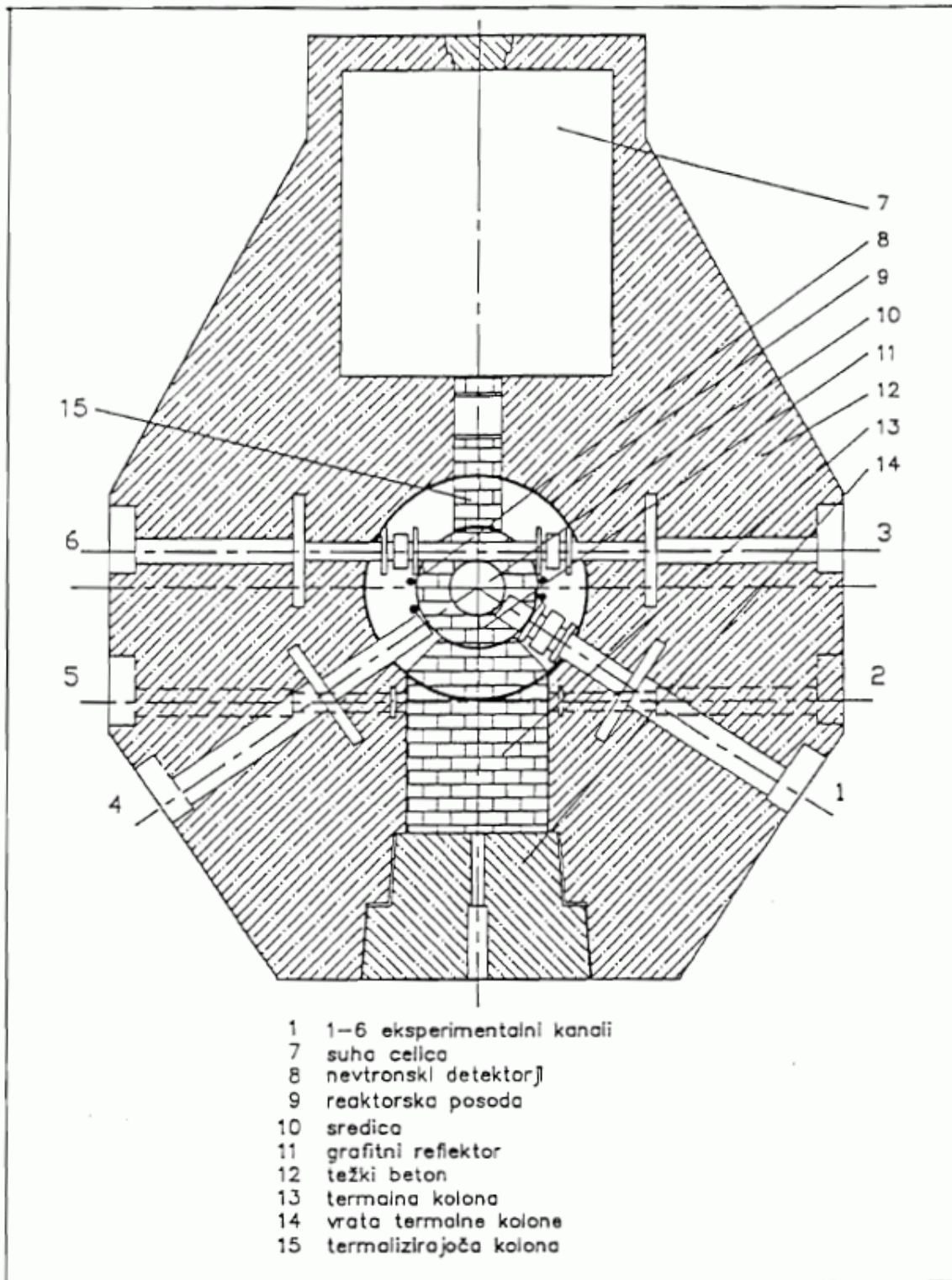
1. Varnostno poročilo za reaktor TRIGA Mark II v Podgorici, Revizija 4, IJS-DP-5823 , Ljubljana (marec 2004)

## **6 PRILOGE**

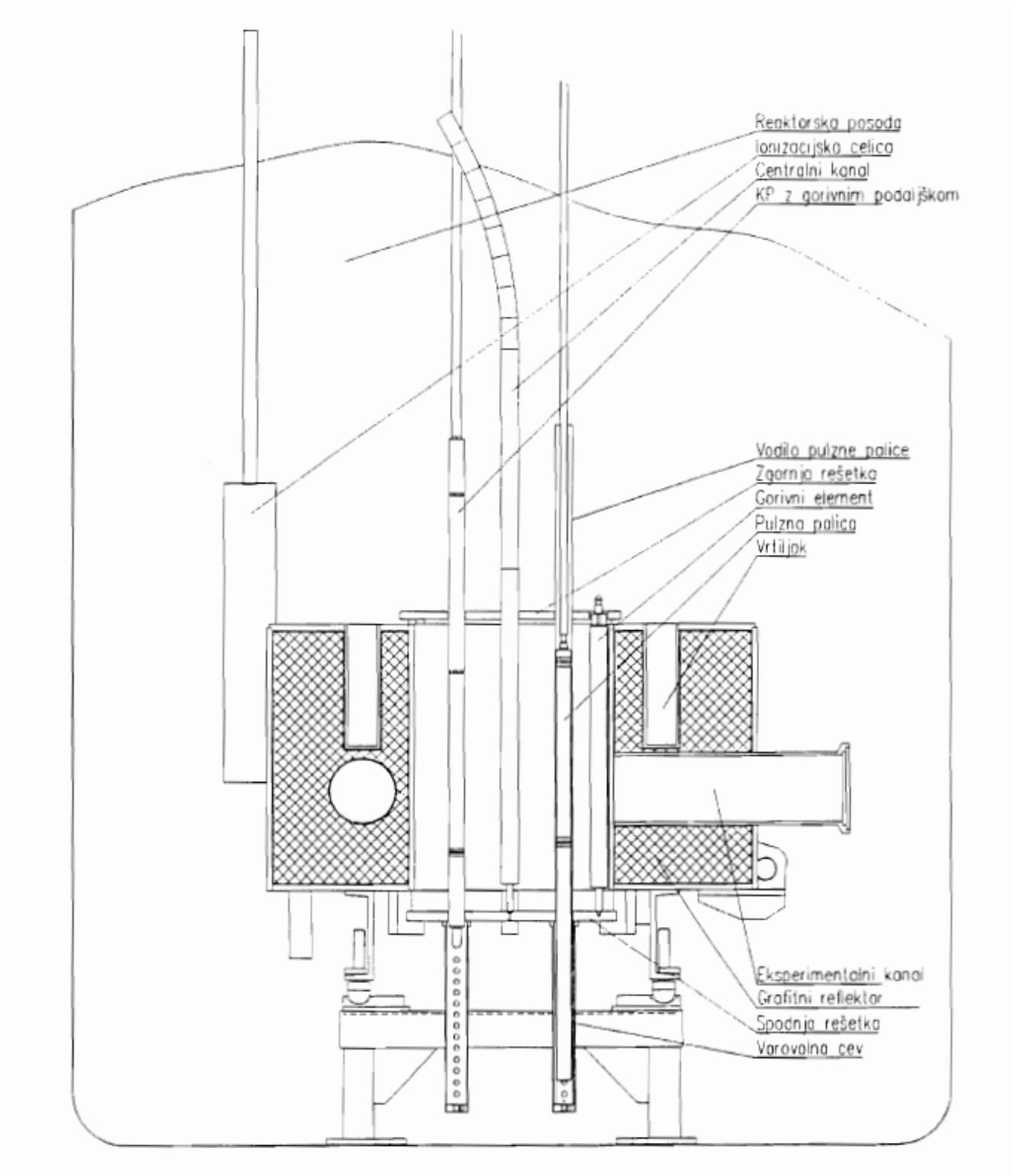




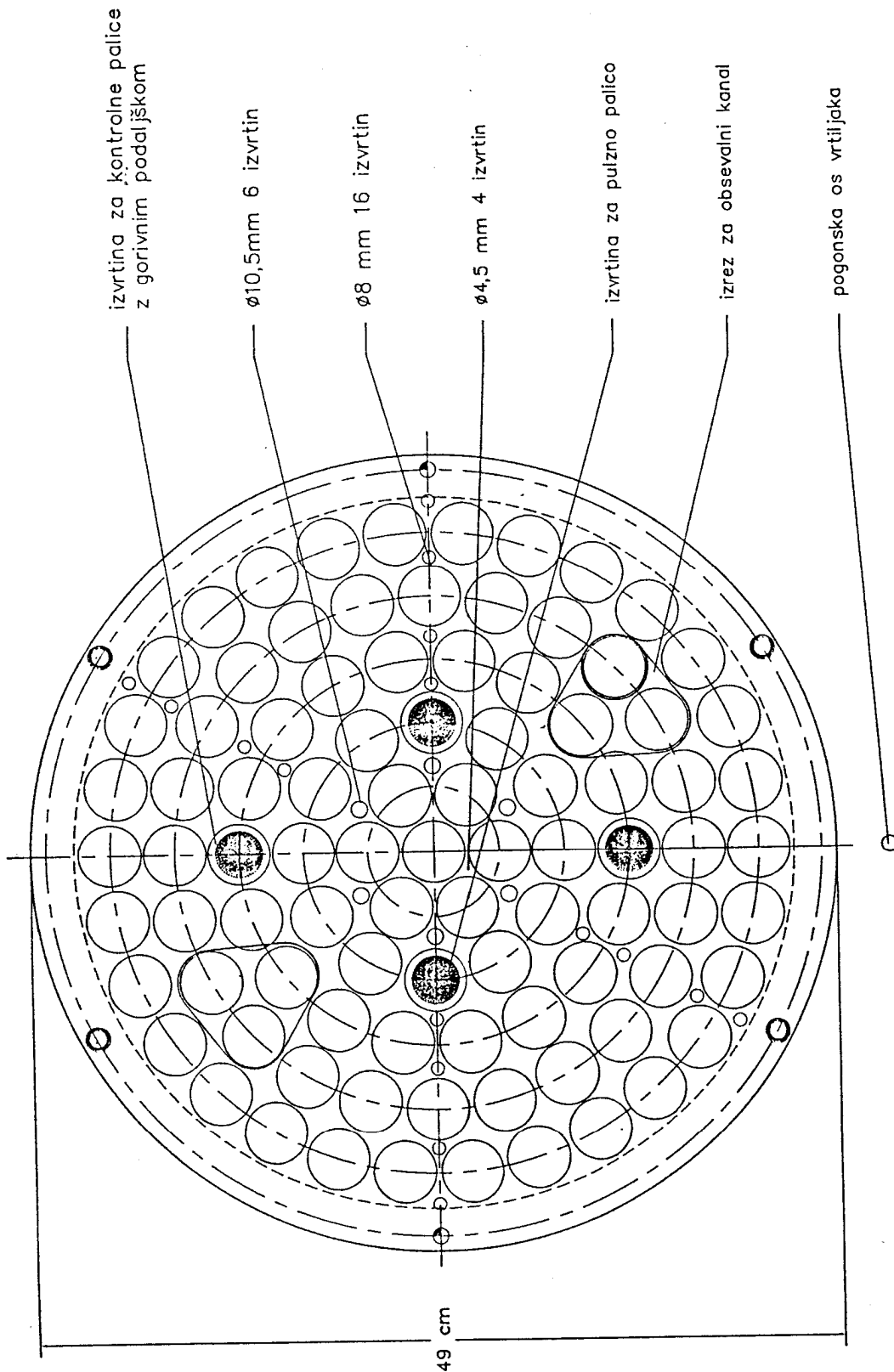
Slika 7.1: Vertikalni prerez reaktorja TRIGA Mark II.



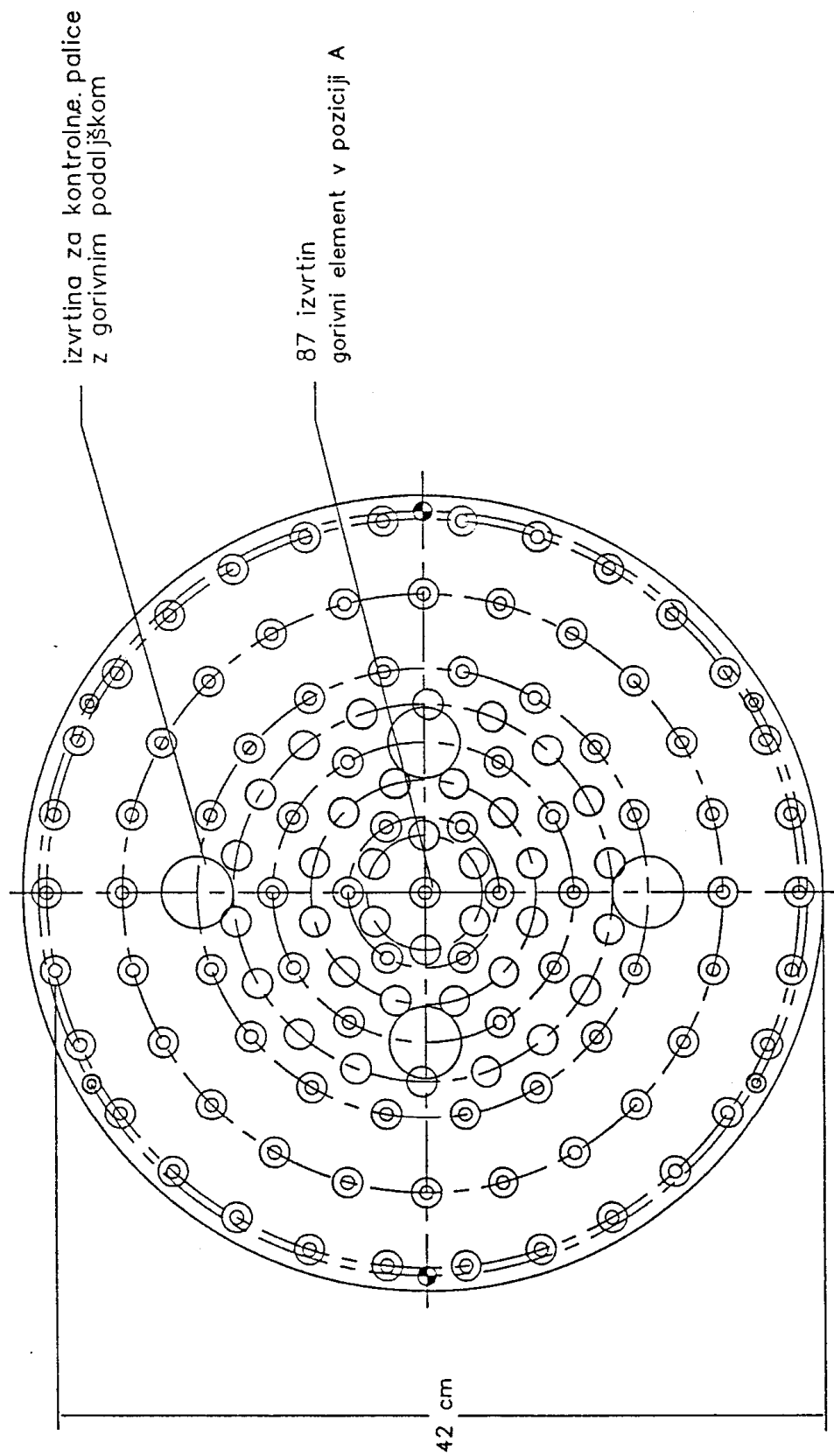
Slika 7.2: Horizontalni prerez reaktorja TRIGA Mark II.



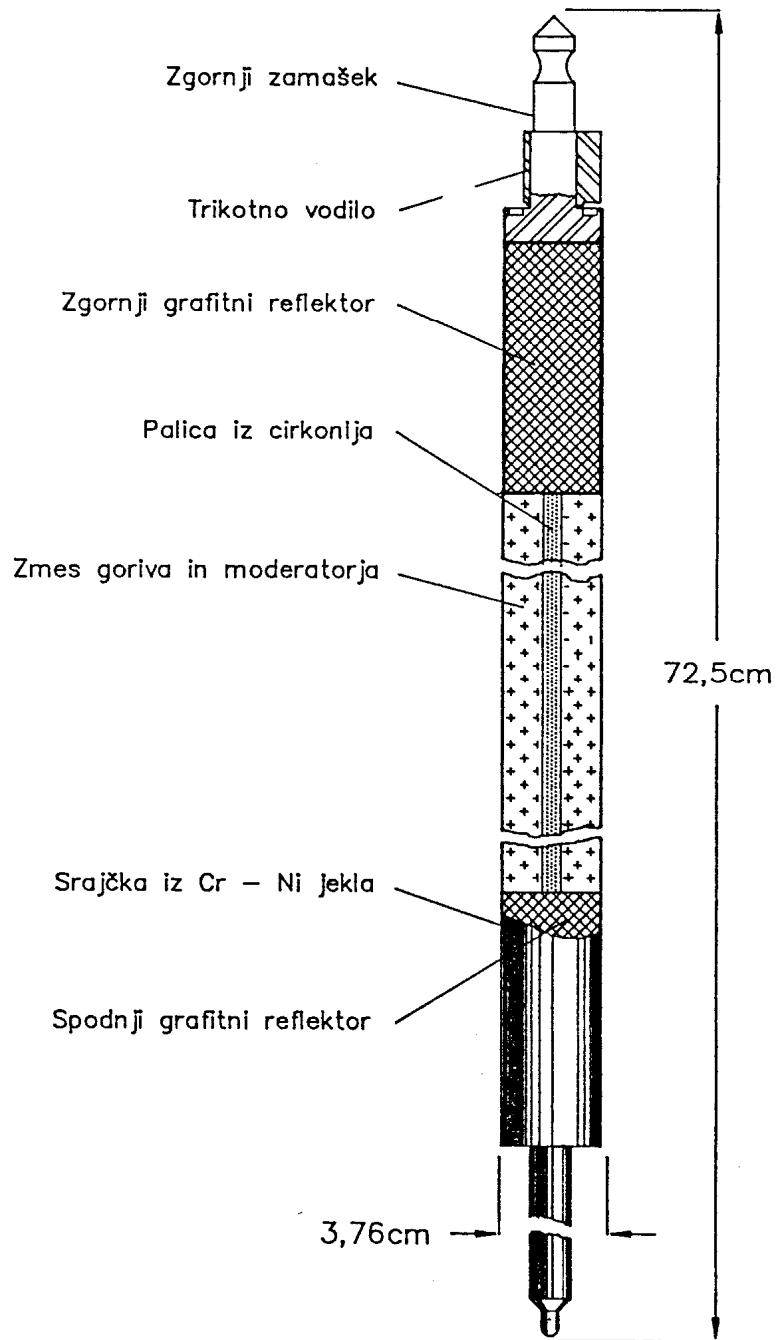
Slika 7.3: Sredica in reflektor.



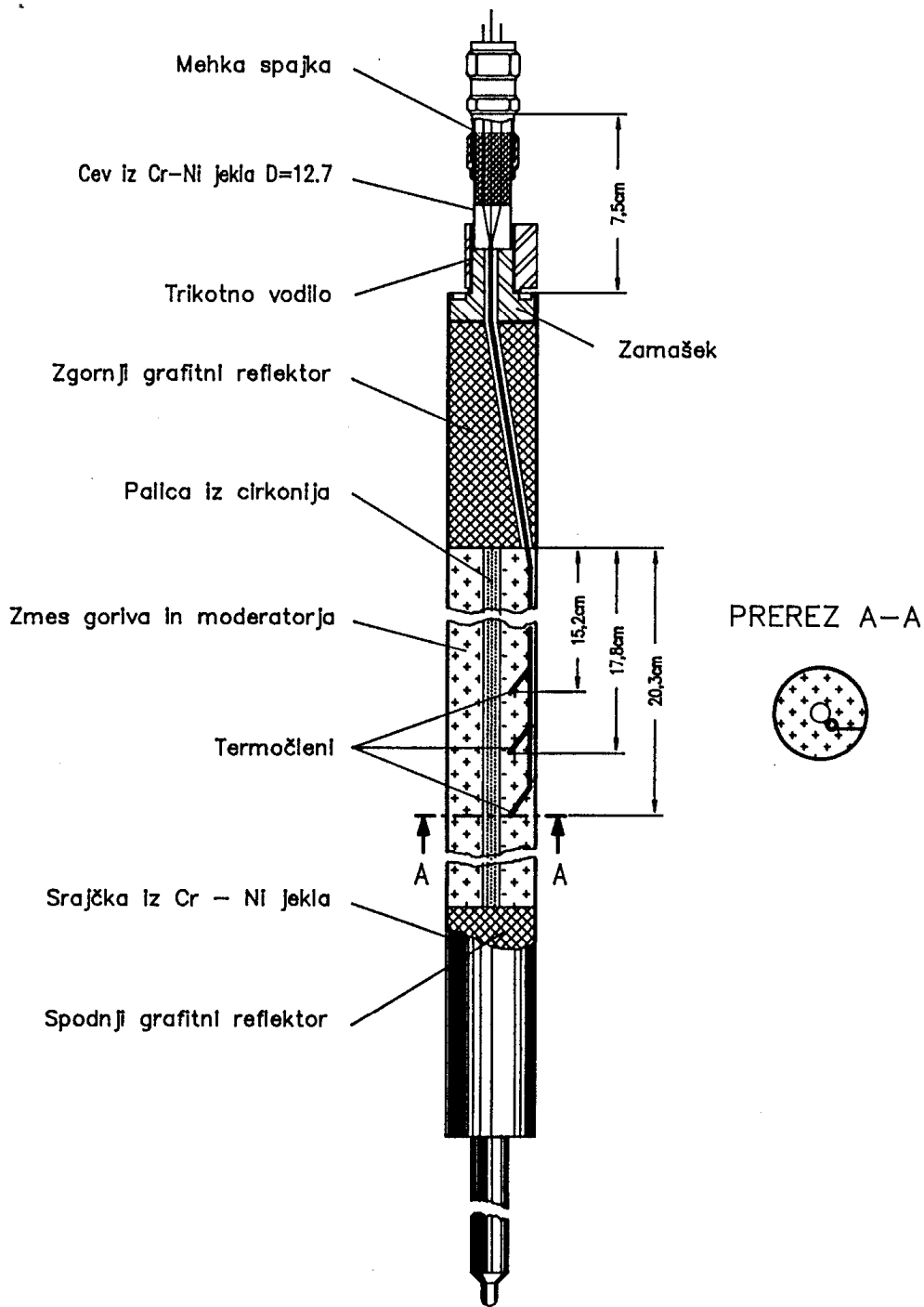
Slika 7.4: Zgornja rešetka.



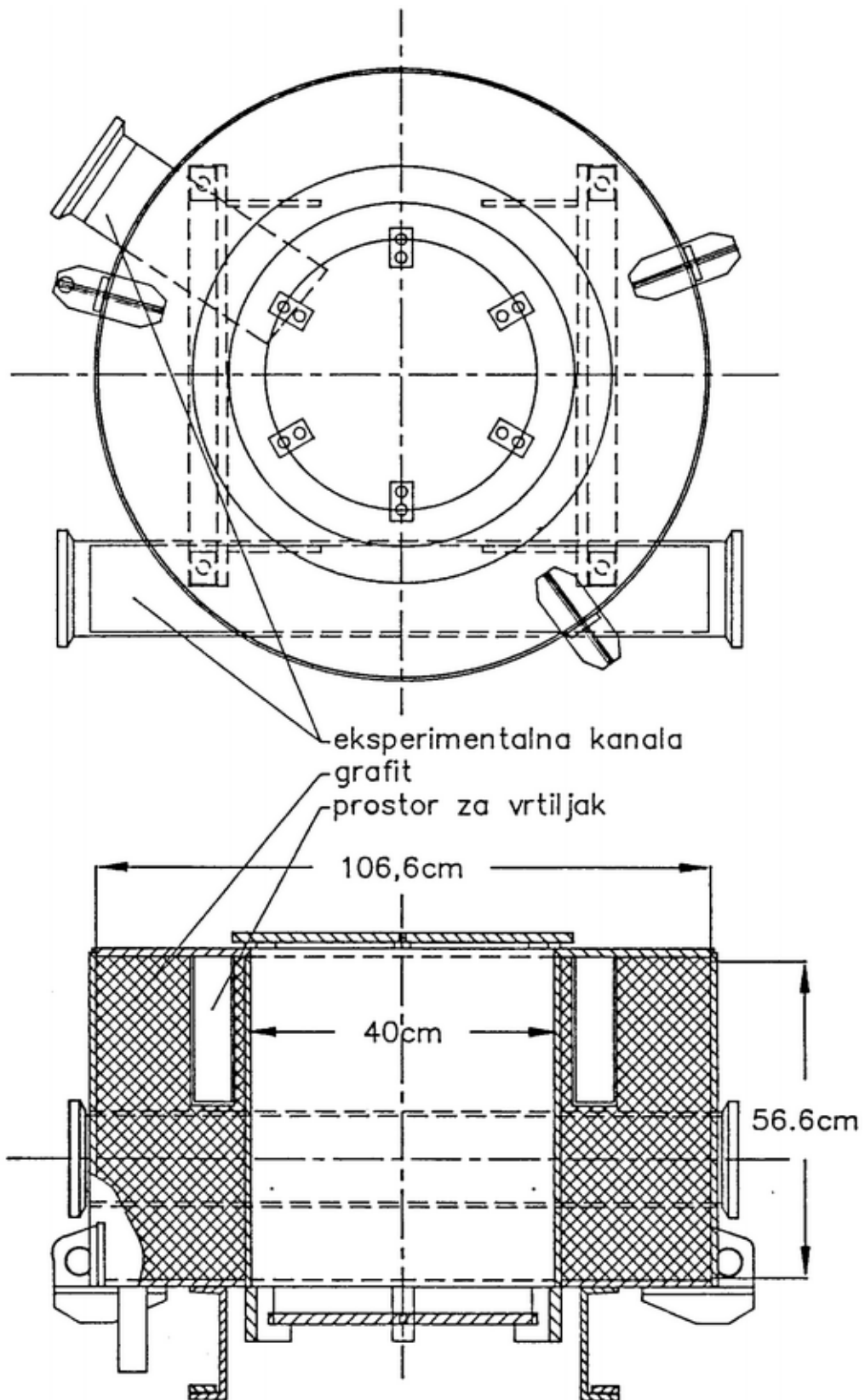
Slika 7.5: Spodnja rešetka.



Slika 7.6 a: Gorivni element.

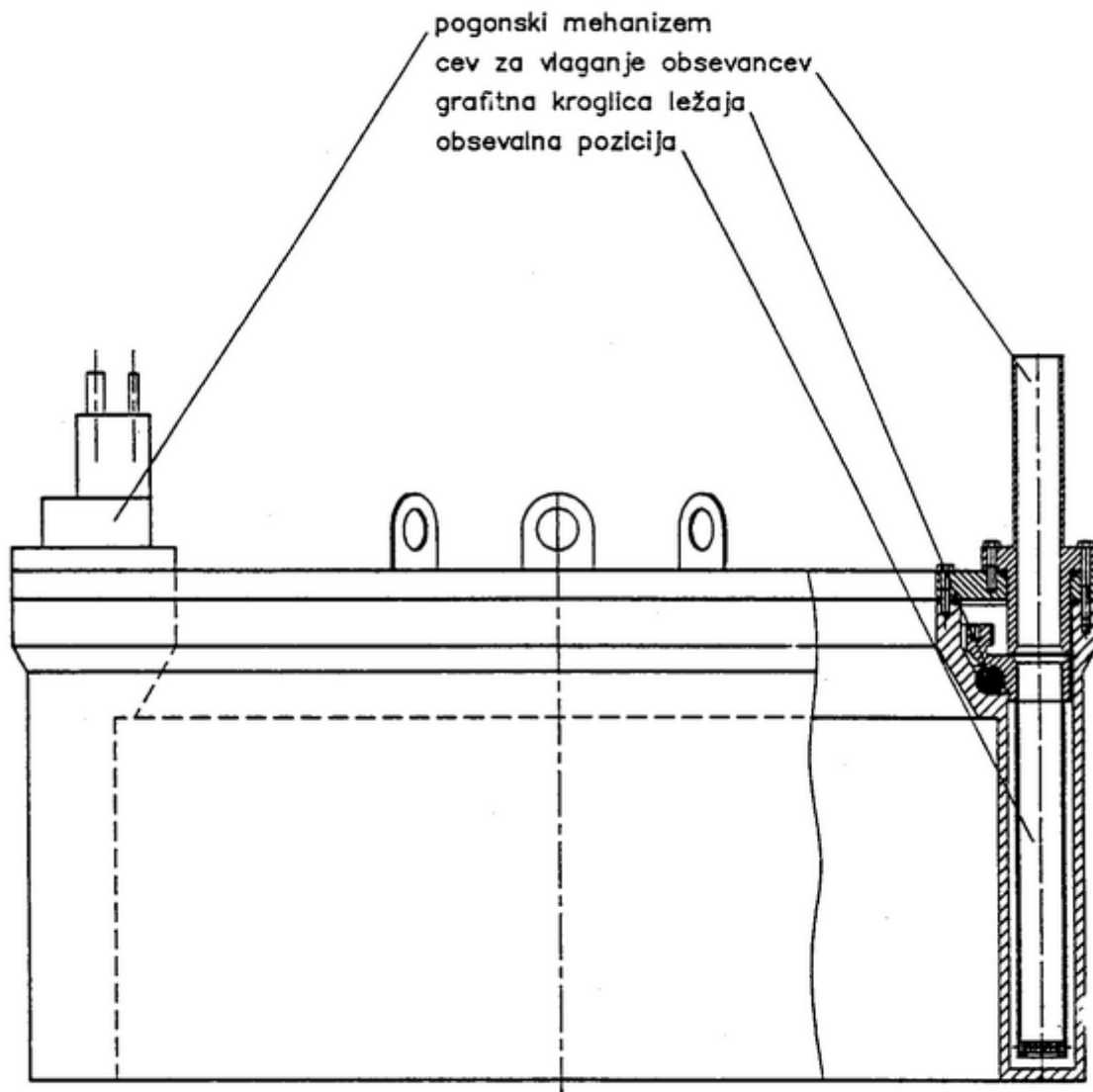


Slika 7.6 b: Gorivni element s termočleni.

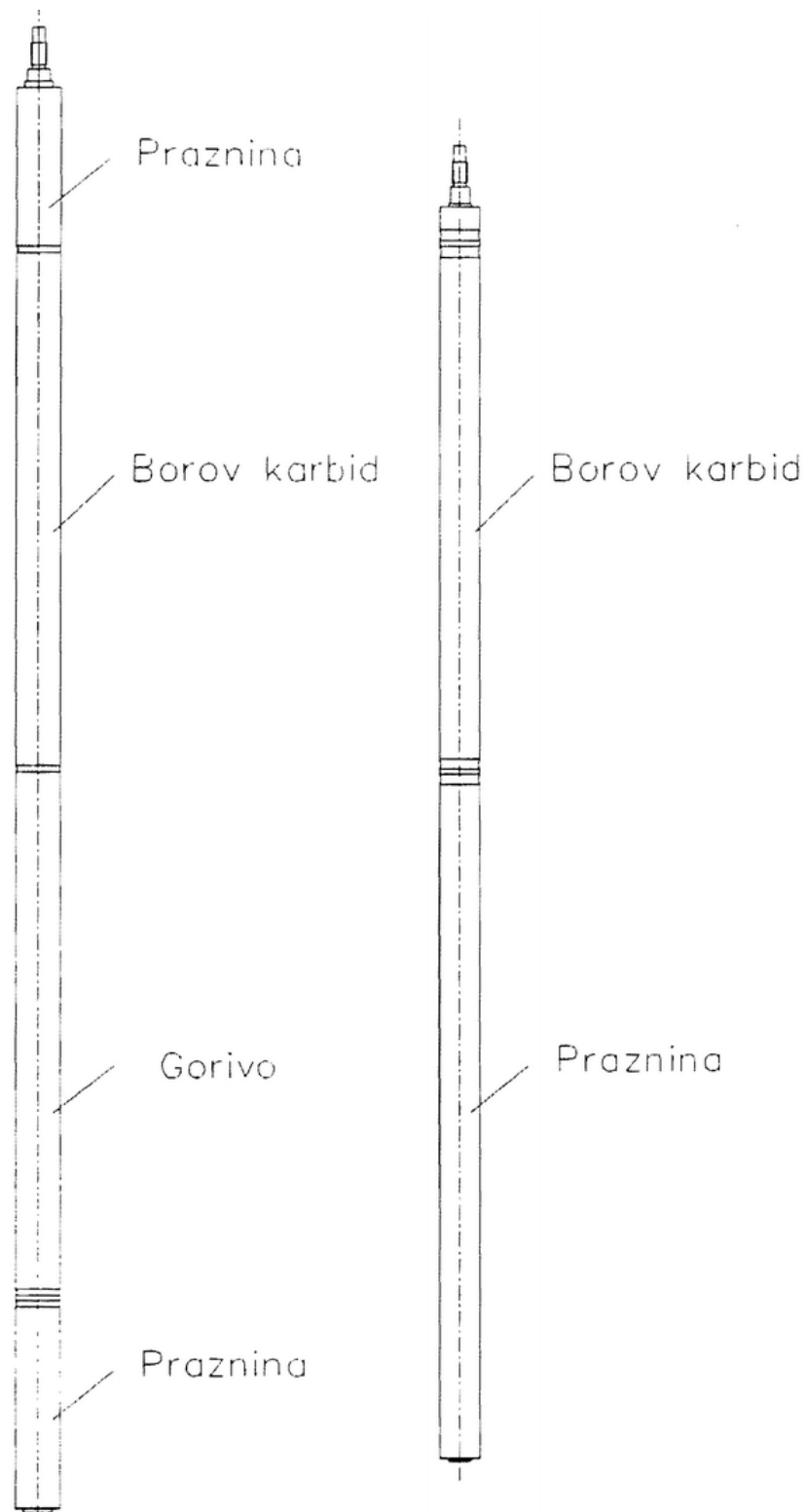


Slika 7.7: Reflektor.



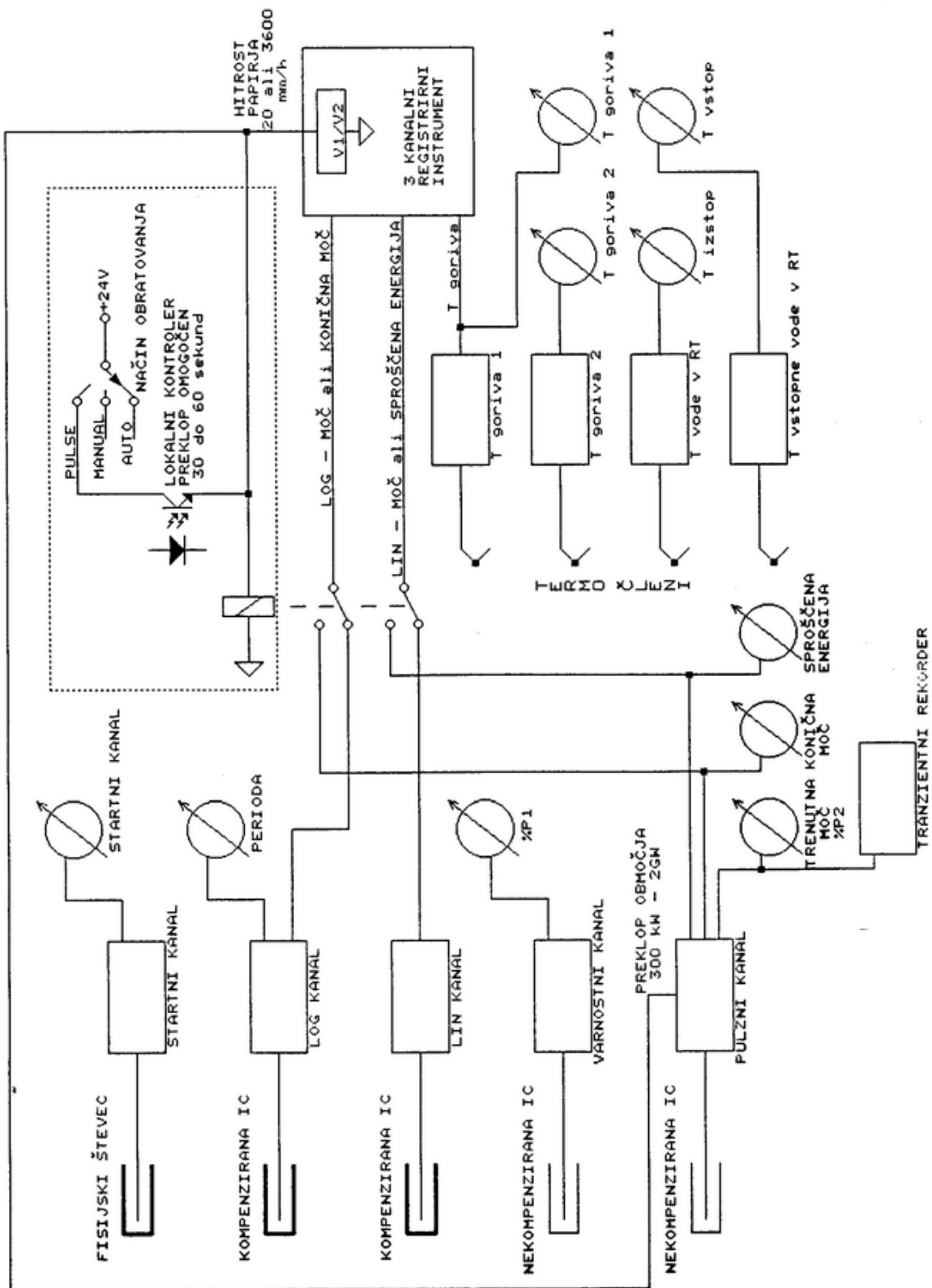


Slika 7.8: Obsevalna naprava v reflektorju – vrtiljak.

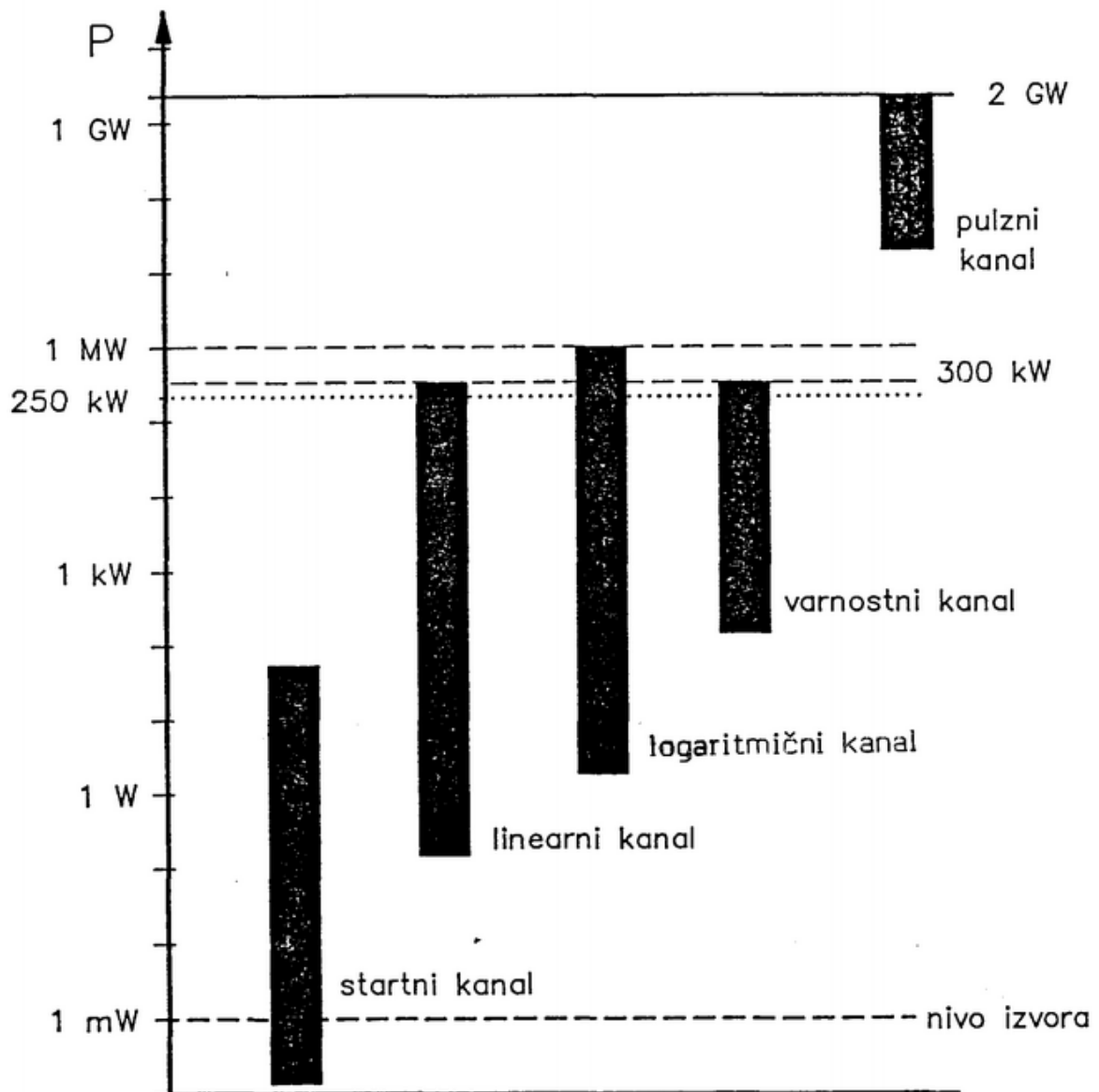


Slika 7.9: Kontrolna palica z gorivnim podaljškom in pulzna palica z votlim podaljškom.

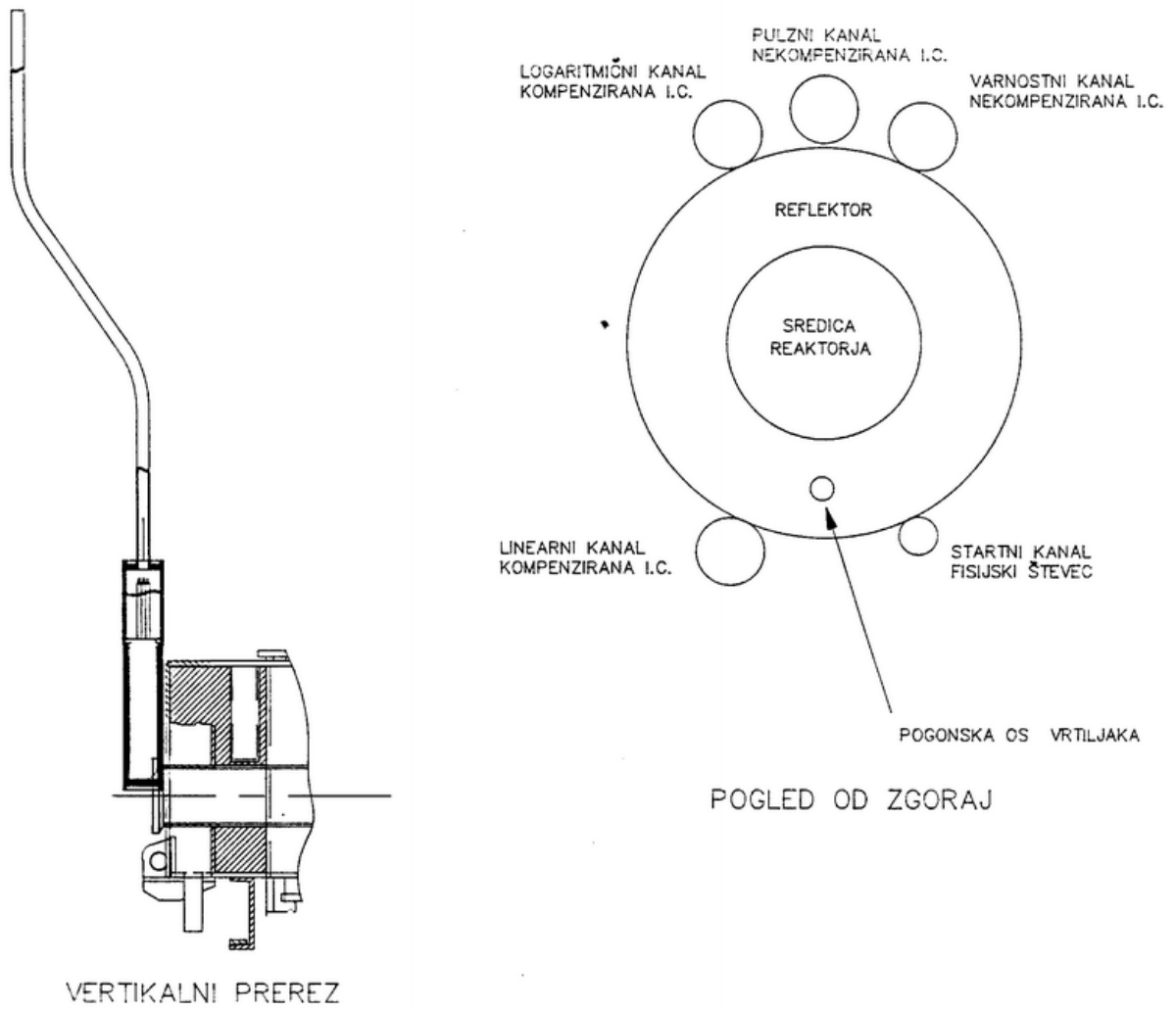




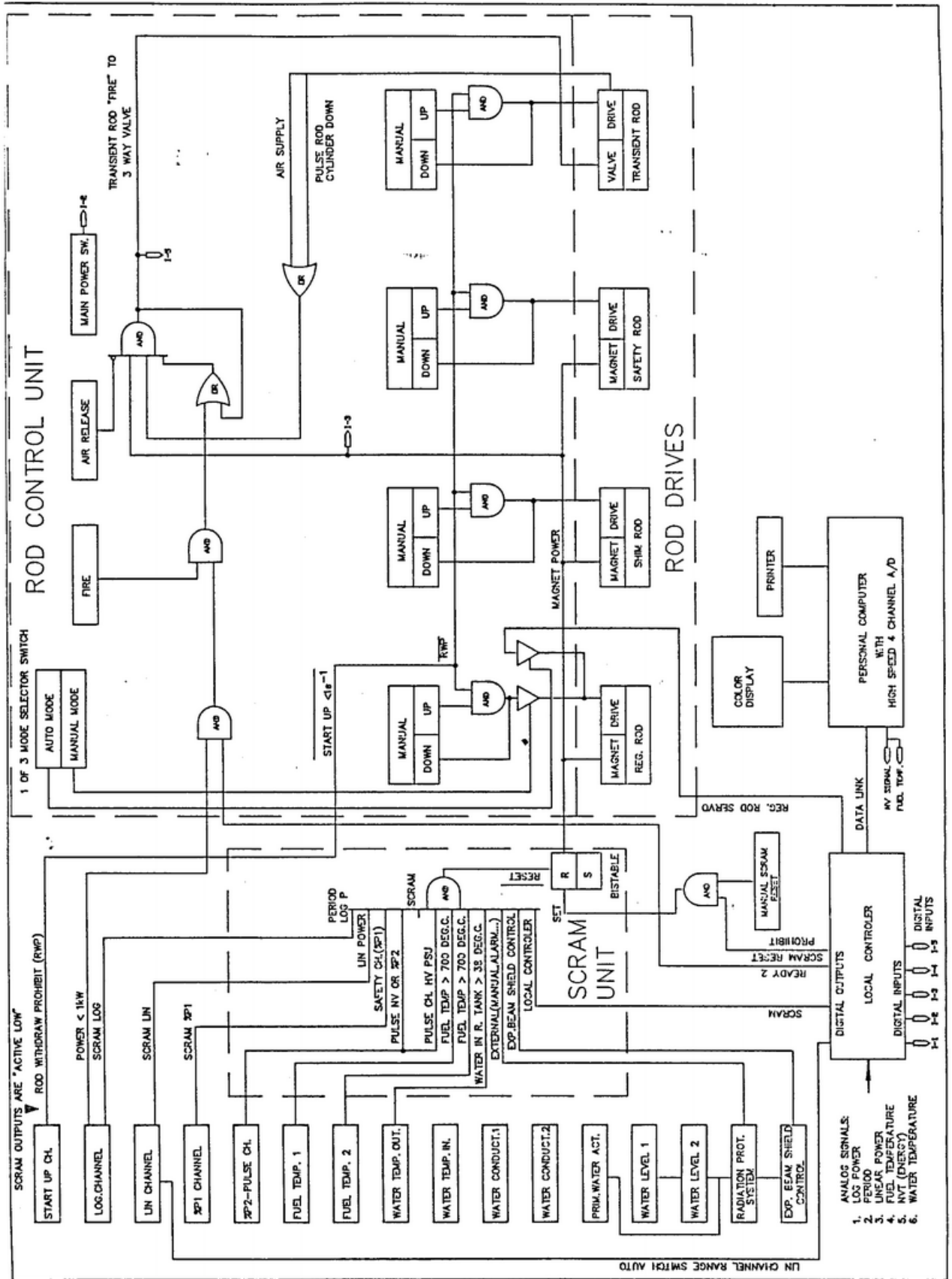
Slika 7.11: Jedrska instrumentacija.



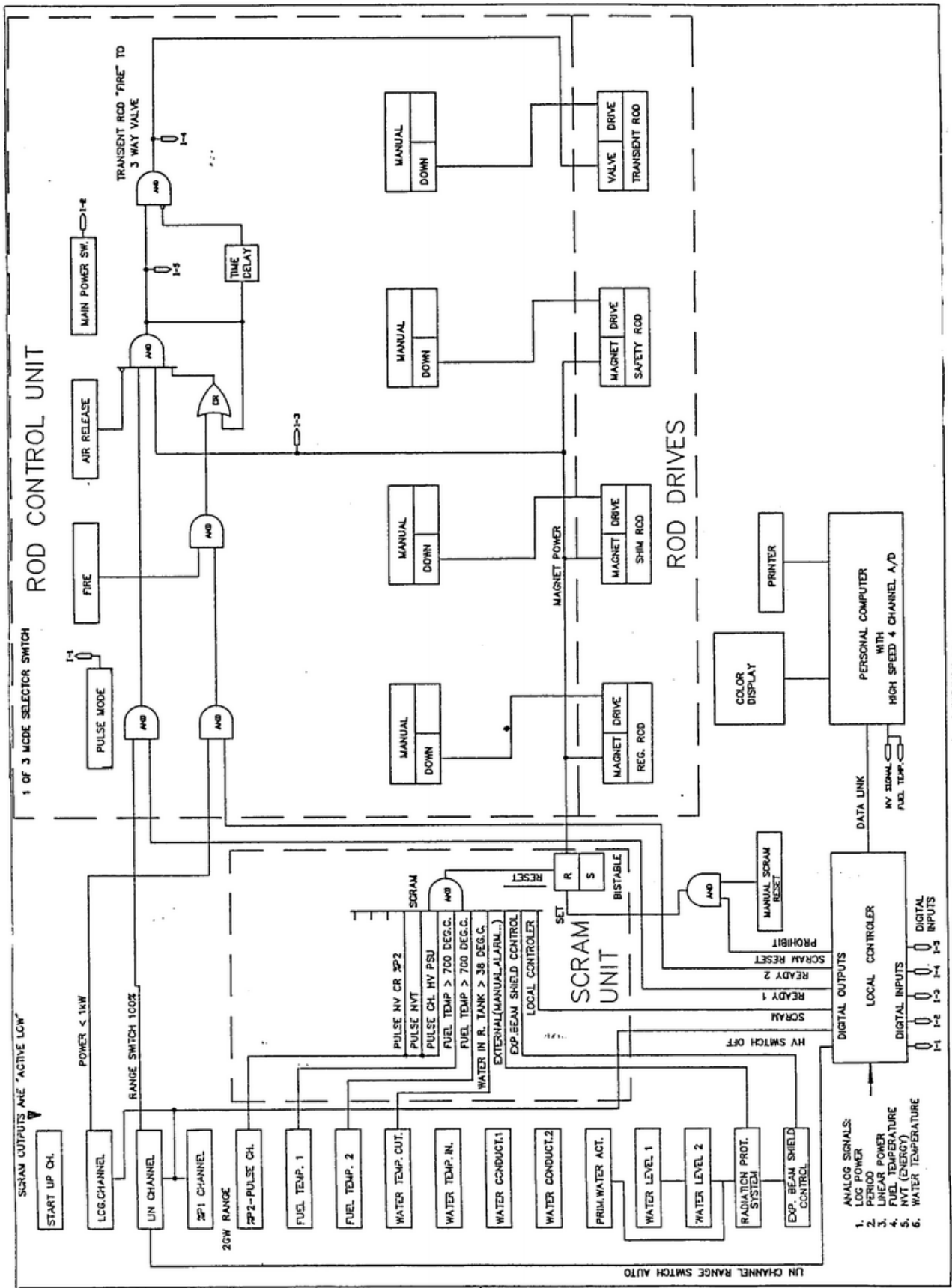
Slika 7.12: Merilna območja nuklearnih kanalov.



Slika 7.13: Razmestitev detektorjev ob sredici.

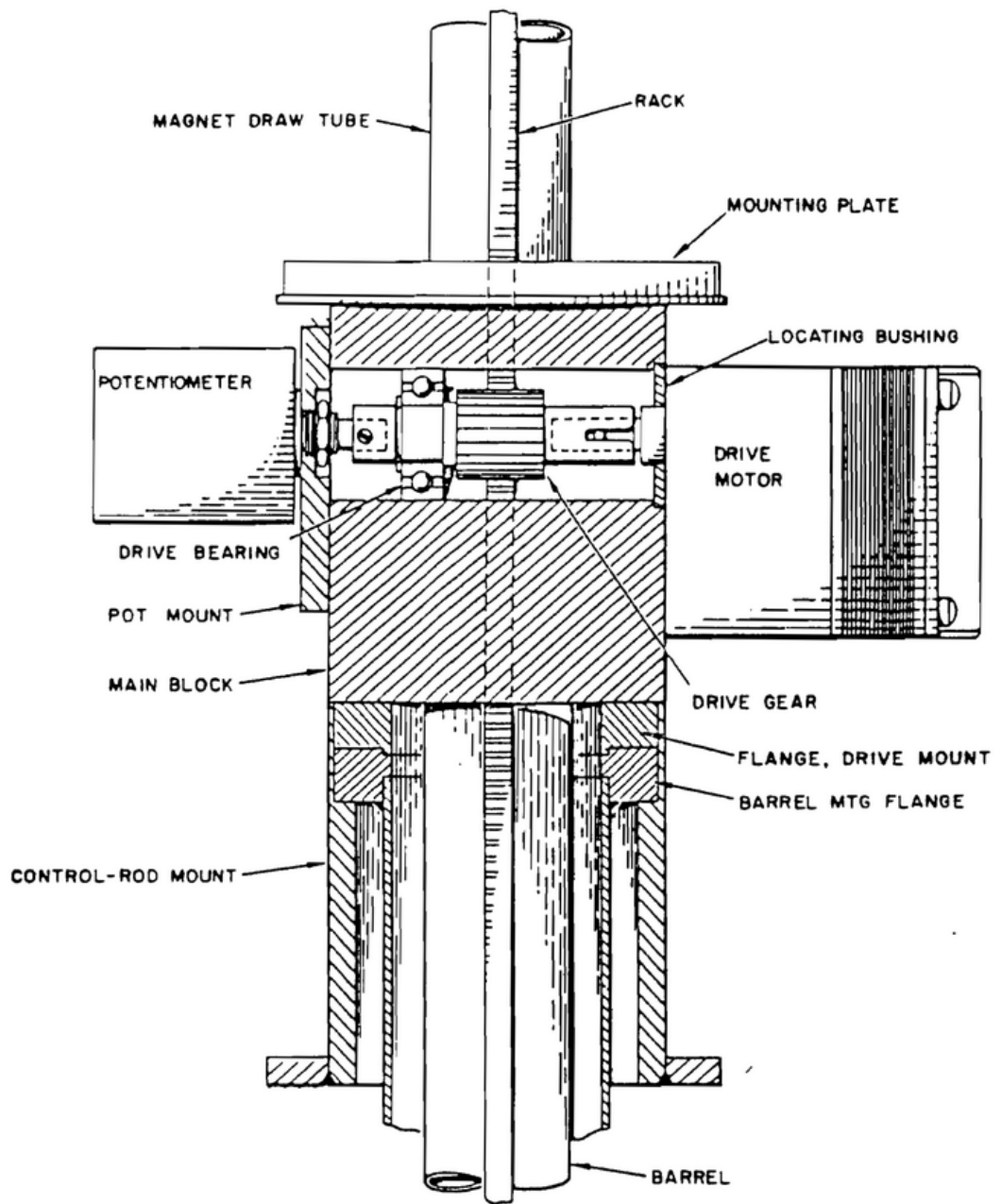


Slika 7.14: Sistem za upravljanje reaktorja v stacionarnem obratovanju.

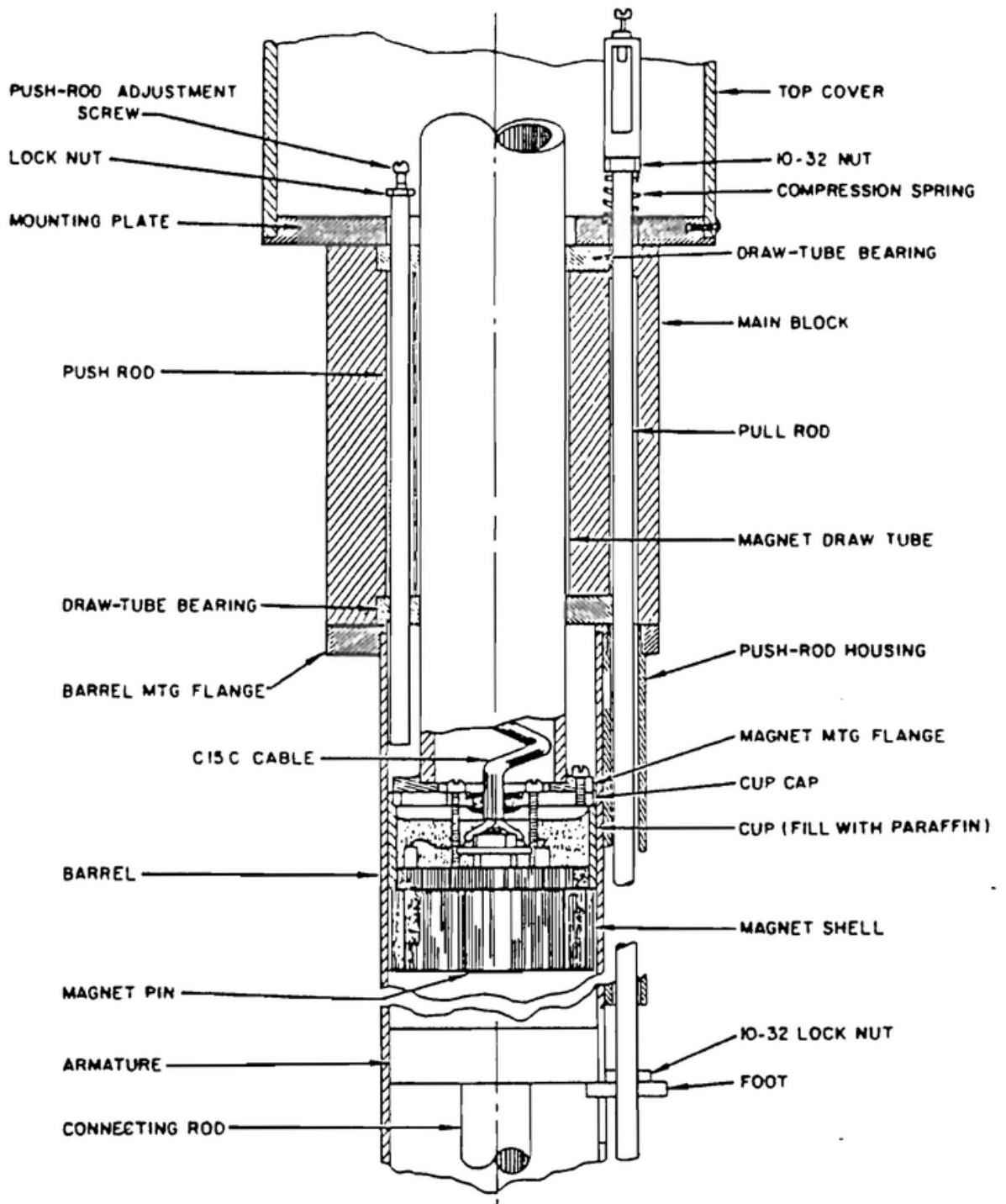


Slika 7.15: Sistem za upravljanje reaktorja v pulznem načinu obratovanja.

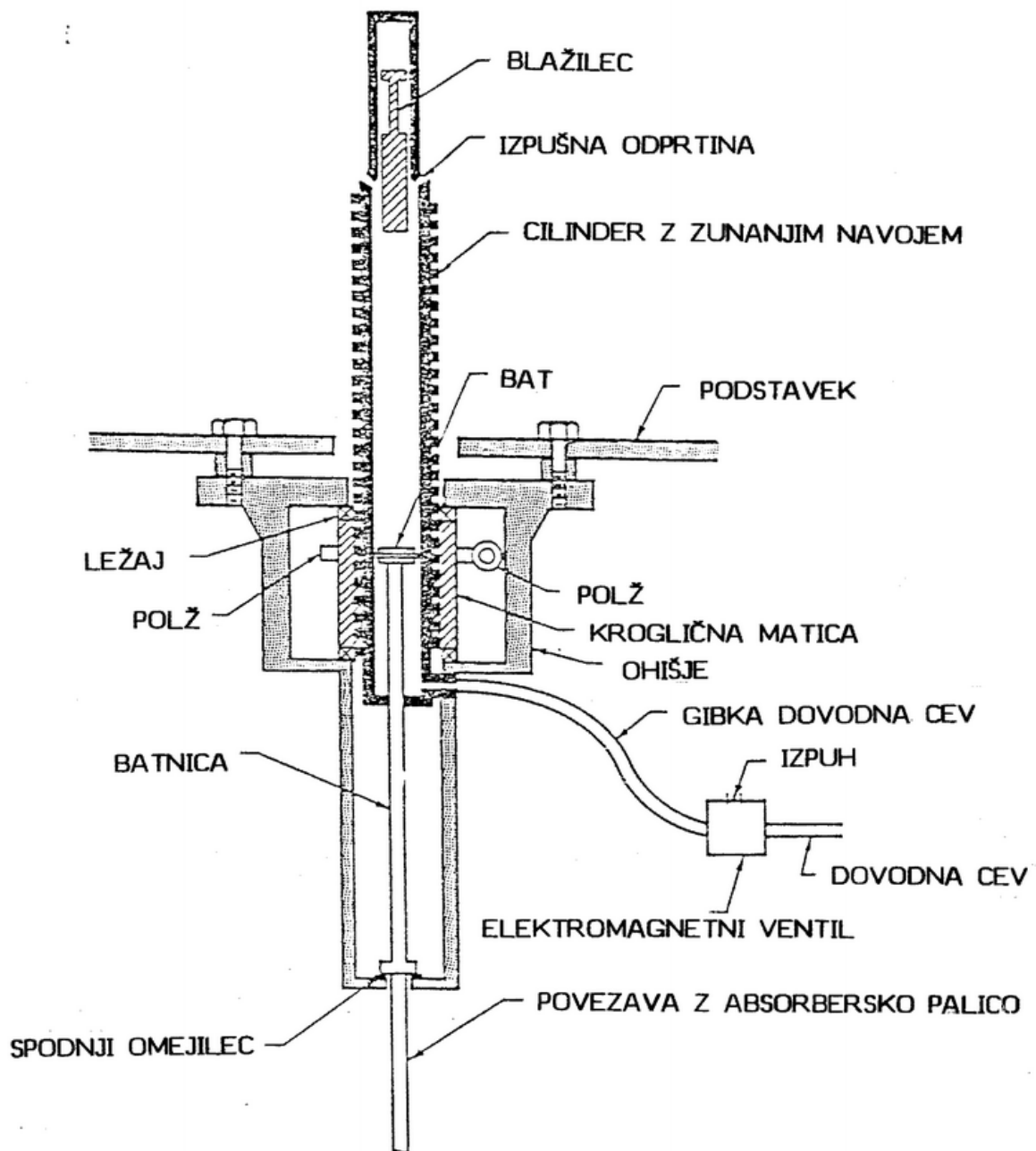




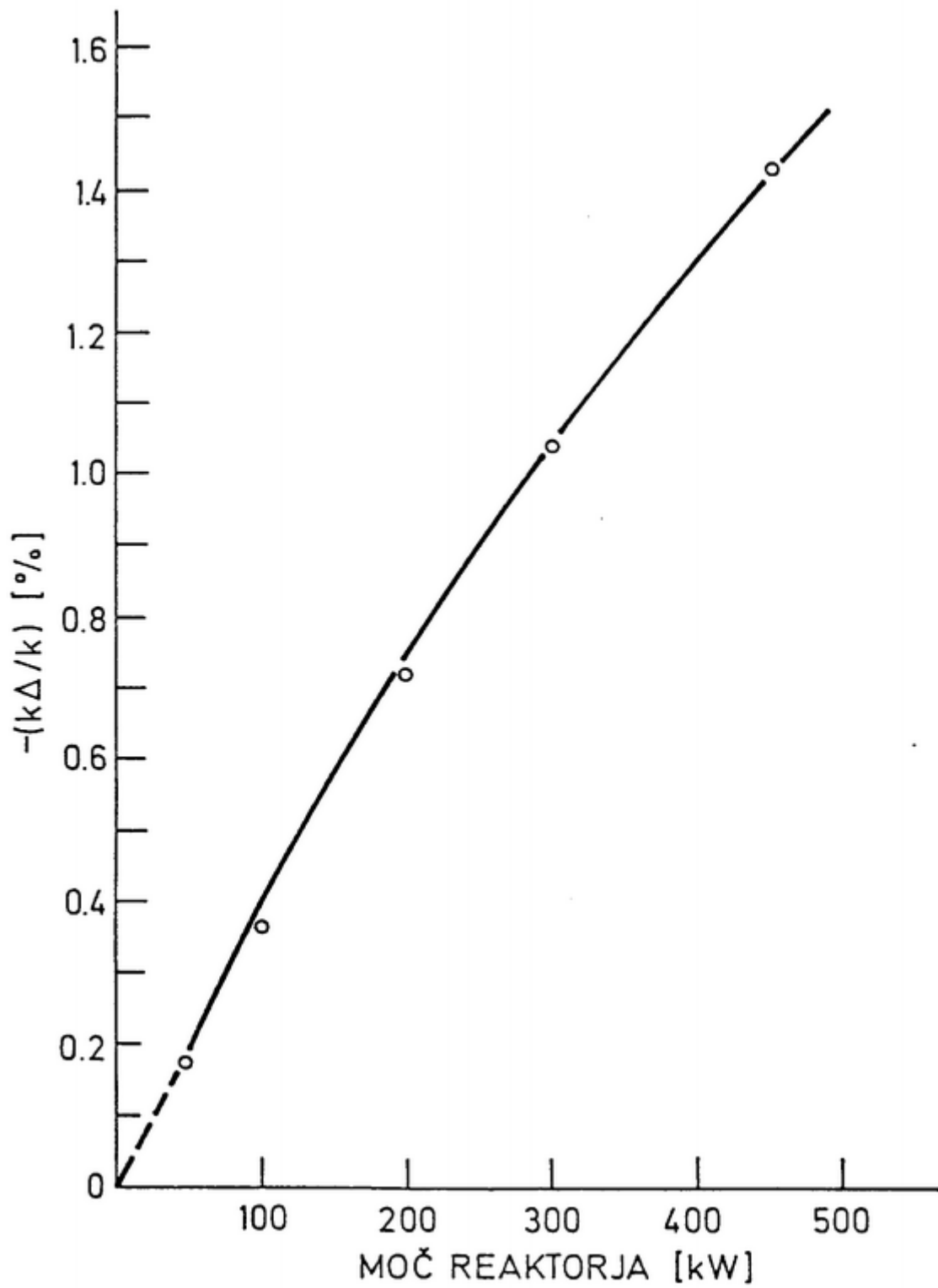
Slika 7.16: Skica zgornjega dela mehanizma kontrolnih palic



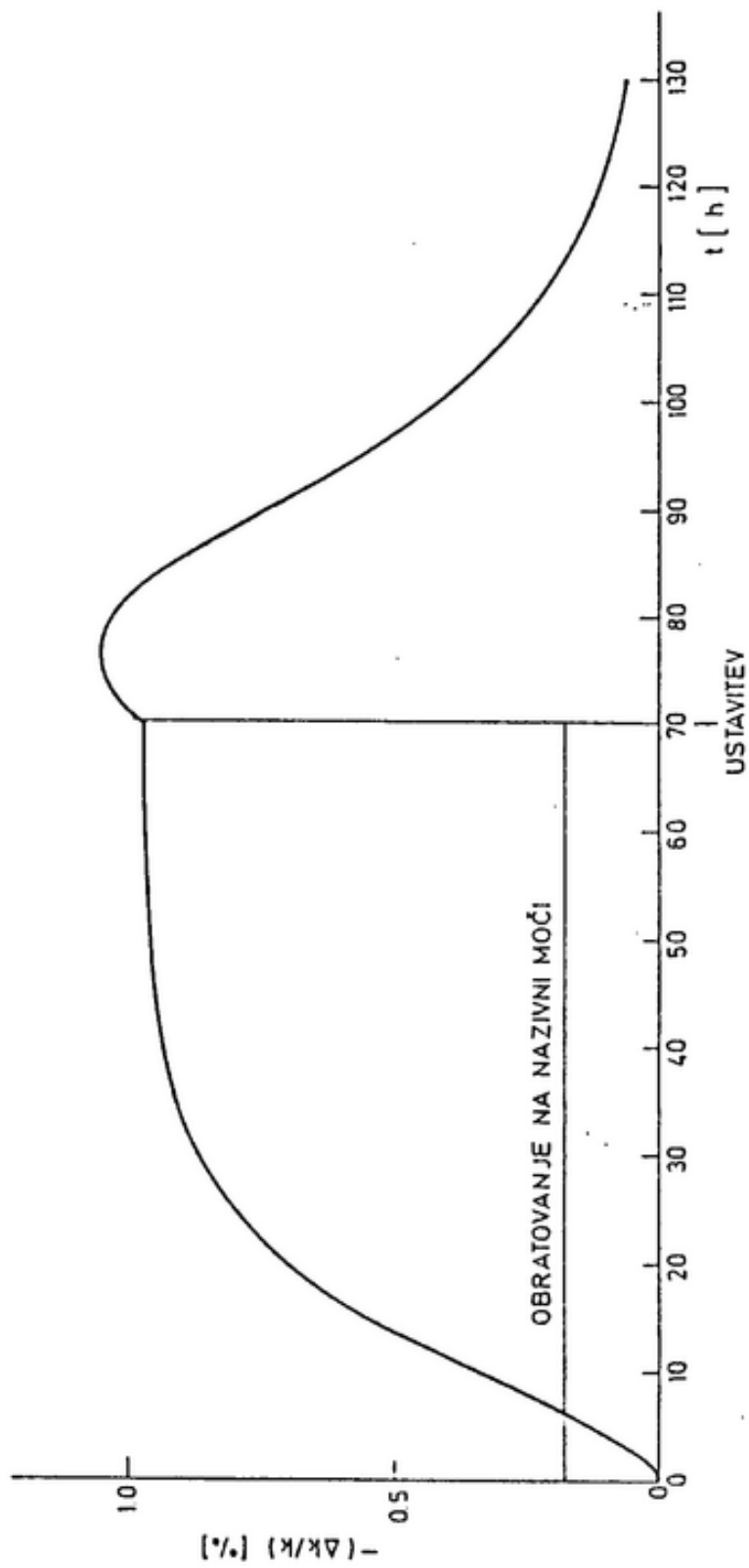
Slika 7.17: Skica spodnjega dela mehanizma kontrolnih palic



Slika 7.18: Shema pogonskega mehanizma pulzne palice



Slika 7.19: Defekt moči



Slika 7.20: Zastrupitev s ksenonom

Tabela 7.1: Hitra ugasnitev reaktorja

Način hitre ugasnitve	Izvir signala	Indikator	Način obratovanja
Ročna hitra ugasnitev	Tipka SCRAM na komandni mizi	Signalne luči MAG ON na komandni mizi ugasnejo	
Ročni vklop alarma in SCRAM	Tipki v reaktorski hali in kleti reaktorja	Luči, zvočniki, alarmne sirene, signalna luč na alarmni centrali in signalna luč na komandni mizi AL.C.	
Moč >91,6% s preklopnikom na komandni mizi izbranega območja Moč >100% s preklopnikom na komandni mizi izbranega območja Izpad visokonapetostnega napajalnika LIN <sup>1)</sup> kanala ali motnja v LIN kanalu	Linearni kanal	Signalna luč LIN na komandni mizi	V pulznem načinu obratovanja je signal izključen
Moč >10% od nazivne moči  Moč >20% od nazivne moči Izpad visokonapetostnega napajalnika VAR <sup>2)</sup> kanala ali motnja v VAR kanalu	Varnostni kanal	Signalna luč VAR 1 na komandni mizi	Izključen v pulznem načinu obratovanja
Perioda < 7 sekund  Perioda < 5 sekund Izpad visokonapetostnega napajalnika LOG <sup>3)</sup> kanala ali motnja v LOG kanalu	Log. kanal	Signalna luč LOG na komandni mizi	Izključen v pulznem načinu obratovanja

Tabela 7.1: Hitra ugasnitev reaktorja - nadaljevanje

Način hitre ugasnitve	Izvir signala	Indikator	Način obratovanja
Moč > 100 % merilnega območja	Pulzni kanal	Signalna luč VAR 2 na komandni mizi	
Sproščena energija > 100 % merilnega območja	Pulzni kanal	Signalna luč nvt na komandni mizi	V kontinuirnem načinu obratovanja izključen
Izpad visokonapetostnega napajalnika pulznega kanala	Pulzni kanal	Signalna luč HV na komandni mizi	
Temperatura goriva 1	Temp. kanal	Signalna luč T g - B	
Temperatura goriva 2	Temp. kanal	Na komandni mizi T g - C	
Temperatura vode v reaktorskem tanku	Merilnik temp.	Signalna luč T vode	
Vrata suhe celice odprta > 3 cm	Končno stikalo	Signalna luč HOR. kanali	
Radiološki alarm: aktivnost primarne vode, aktivnost sek. vode,..., nivo vode v reaktorski posodi nizek	Alarmna enota	Luči, zvočniki alarmne sirene signalna luč AL.C. na komandni mizi	Omogočeno je ročno posredovanje operaterja, razen pri nizkem nivoju vode v reaktorski posodi
Analogni in digitalni vhodi lokalnega kontrolerja	Lokalni kontroler	Signalna luč LC na komandni mizi	

1) = linearni kanal,

2) = varnostni kanal,

3) = logaritmični kanal

Tabela 7.2: Opozorila prve skupine

Vhodni signal	Sproži	Indikator	Opomba
Nivo vode v reaktorski posodi 20 cm pod normalnim	Merilnik tlaka	Sirena	Reaktor obratuje
Aktivnost primarne vode večja od 50 kBq/cm <sup>3</sup>	Merilnik aktivnosti v čistilni veji	Rdeča LED na modulu KE - ESP	
Aktivnost plinov v dimniku	Merilnik aktivnosti v dimniku	Rdeča LED na modulu KE - ESP	
Hitrosti doz	Monitorji za radiološki nadzor reaktorske hale in kleti	Rdeča LED na modulu KE - ESP	



Tabela 7.3: Signali za zapore

Vhodni signal	Sproži	Najavi	Opomba
Startni kanal $< 1 \text{ s}^{-1}$ Izpad visokonapetostnega napajalnika startnega kanala ali motnja v startnem kanalu	Startni kanal	Signalna luč na komandni mizi START $< 1 \text{ s}^{-1}$	Prepreči samo dvigovanje katerekoli kontrolne palice ali cilinder tranzientne palice glede na izbrani način obratovanja.
LOG kanal $P > 1 \text{ kW}$  *Digitalni izhod iz lokalnega kontrolerja READY 2	LOG kanal  Lokalni kontroler	Signalna luč ugasne aktiviranje tranzientne palice omogočeno	Prepreči spuščanje zraka v cilinder tranzientne palice ne glede na izbrani način obratovanja
Preklopnik območij linearnega kanala ni na območju 300 kW  *Digitalni izhod iz lokalnega kontrolerja READY 1	Preklopnik območij LIN kanala  Lokalni kontroler	Signalna luč na komandni mizi PULZIRANJE OMOGOČENO	Prepreči spuščanje zraka v cilinder tranzientne palice pri pulznem načinu obratovanja.

\* kot dodatna zapora (za zaščito instrumentacije)