

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**  
Transporta un Mašīnzinību fakultāte  
Mašīnzinātnes nozares diagnostikas un kvalitātes apakšnozare

**ZIGFRĪDS-VISVALDIS MOZGIRS**

**INŽENIERFIZIKĀLĀS PROBLĒMAS ZINĀTNISKI  
PĒNIECISKĀ  
KODOLREAKTORA IRT DARBĪBAS  
NODROŠINĀŠANĀ UN  
IZMANTOŠANAS UZLABOŠANĀ**

**Promocijas darba kopsavilkums**

Darbs veikts Salaspils zinātniski  
pētnieciskajā kodolreaktorā IRT

Zinātniskais vadītājs:  
profesors, Dr. habil. phys. Juris Tīliks

Rīgā-2005.g.

## 1. Ievads

Salaspils kodolreaktora ekspluatācijas sākuma periodā inženiertehniskā pieredze kodolreaktora izmantošanā un darbiem augstas radiācijas apstākļos vēl bija niecīga, konvencionālie tehniskie līdzekļi zinātniskiem eksperimentiem bija izmantojami ierobežoti un iekārtas nebija pārbaudītas ilgākā darbā. Kā pirmās paaudzes kodolreaktoram tam bija daudz neatrisinātu problēmu un izteikts eksperimentāls raksturs.

Autors promocijas darbu veidojis no darbiem un publikācijām, kurās analizēti zinātniski pētnieciskā kodolreaktora IRT tehnoloģisko iekārtu bojāšanās iemesli, doti tehnisko nepilnību novēršanas risinājumi, kodolreaktora IRT modernizācija ar jaudas palielināšanu, kodoldrošības un radiācijas drošības uzlabošanas pētījumi.

### 1.1. Pētījumu objekts un tēmas aktualitāte

Kodolreaktora IRT inženierzinātņu pētījumi bija nepieciešami, lai pilnveidotu kodolreaktora izmantošanas iespējas, palielinātu jaudu un paaugstinātu ekspluatācijas drošību, piemērotu to Latvijā veicamajiem zinātniskajiem pētījumiem. 1968. gadā tika konstatēti iekārtu bojājumi un alumīnija korozija, radot turpmākai ekspluatācijai bīstamu situāciju. Aktuālākās problēmas bija:

#### **Aktīvajā zonā:**

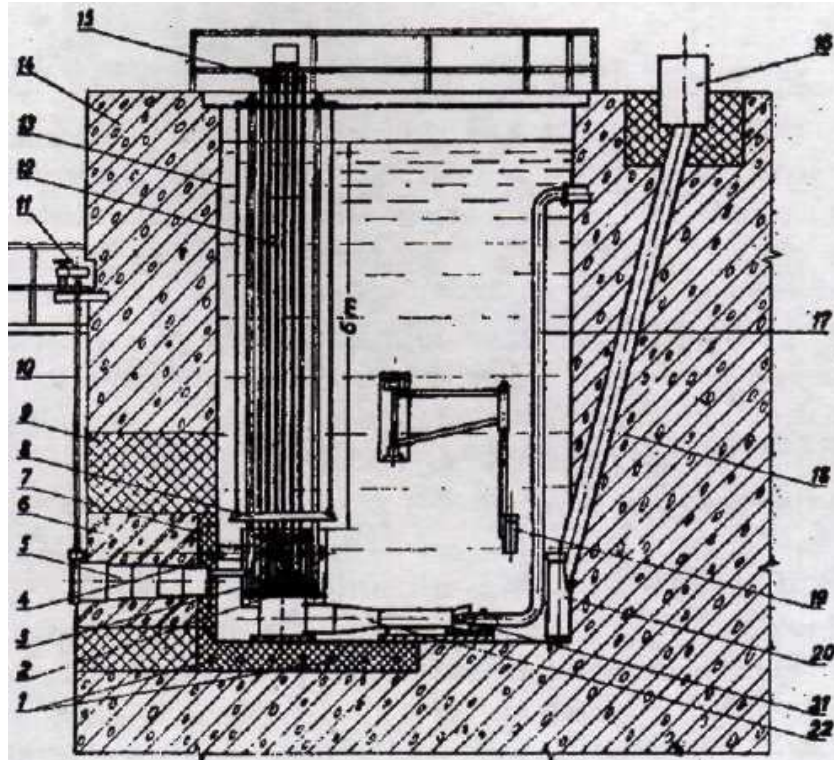
- kodolreaktora aktīvo zonu no augšas pārklāja hidrauliskais atsītējvairogs, kodoldegvielas kasešu piespiedējs un vadības servodzinēji;
- ieslēdzot un apturot dzesēšanas sistēmas ūdens plūsmu cauri aktīvajai zonai (no apakšas uz augšu), kodol degvielas kasetes un atsevišķi EK10 stieniņi tika pakļauti hidrauliskiem triecieniem un vibrācijām, radot kodoldegvielas bojāšanos. No aktīvās zonas bija izņemtas 30 bojātas kodoldegvielas kasetes ar deformētiem EK-10 kodoldegvielas elementiem;
- bija deformējies (uzpūties) siltuma kolonas svina filtrs, saspiežot aktīvās zonas korpusu un kodoldegvielas kasetes;

**Alumīnija korozijas dēļ:** bija bojāta kodolreaktora baseina bāka, augsti radioaktīvās izlietotās kodoldegvielas šahtas-glabātavas bāka, kodoldegvielas pārlādēšanas un baseina bākas drenāžas sistēmas, radiācijas kontūra apvalks un siltummaiņi.

Tika konstatēta arī iekārtu neatbilstība kodoldrošības un radiācijas drošības prasībām:

- kodoldegvielas kasešu pārlādēšanas sistēma nespēja darboties avārijas situācijā, tās pārslodze radīja plaisas kodolreaktora ēkas konstrukcijās;
- avārijas gadījumā aktīvajā zonā kodoldegviela nebija pasargāta no izkušanas;
- nebija ņemtas vērā siltuma kolonas grafitā tilpuma palielināšanās izmaiņas "augšana" radiācijas ietekmē.

**Kodolreaktora izmantošanai** bija nepieciešams palielināt neitronu plūsmu aktīvajā zonā un automatizēt eksperimentālās iekārtas.



1.1.att. Kodolreaktora IRT-1000 vertikālais griezumus

1-bioloģiskās aizsardzības dzesēšanas caurule; 2-aktīvā zona; 3-«siltuma» kolona; 4-pieskares kanāls; 5-horizontālā kanāla aizbīdnis; 6-bioloģiskās aizsardzības kārtā ar īpatnējo svaru  $5,2 \text{ t/m}^3$ ; 7-bioloģiskās aizsardzības kārtā ar īpatnējo svaru  $6,5 \text{ t/m}^3$ ; 8-ūdens atstarotājs; 9-bioloģiskās aizsardzības kārtā ar īpatnējo svaru  $4,5 \text{ t/m}^3$ ; 10-aizbīdņa darbināšanas pievads; 11-aizbīdņa darbināšanas dzinējs; 12-vertikālie eksperimentālie kanāli; 13-baseina alumīnija izklājums; 14-bioloģiskās aizsardzības kārtā no vienkāršā betona; 15-baseina pārsegs ar servodzinējiem; 16-svina konteiners radioaktīvo kasešu pārvietošanai; 17-dzesējošā ūdens pievadcaurule; 18-radioaktīvo kasešu transportēšanas kanāls; 19-kronšteins radioaktīvo kasešu pārvietošanai; 20-kasešu ievietošanas konteiners; 21-ežektora sprausla; 22-ežektors.

## 1.2. Darba uzdevumi un mērķis

1. Apzināt bīstamās situācijas kodoldrošībai un radiācijas drošībai, izstrādāt metodiku alumīnija korozijas procesu pētījumiem augstas radiācijas apstākļos.
2. Izstrādāt un realizēt IRT tipa kodolreaktora modernizāciju ar jaudas palielināšanu līdz 5MW, radot tehnoloģiju bojāto iekārtu nomaiņai darbam augstas radiācijas apstākļos.
3. Automatizēt zinātnisko eksperimentu iekārtas un uzlabot kodolreaktora ekspluatācijas drošību.
4. Veikt pēc modernizācijas kodolreaktora iekārtu kopdarbības aprobāciju, nosakot aktīvās zonas jaudas un temperatūras sakarības.

## Darba struktūra un saturs

Promocijas darbs "Inženierfizikālās problēmas zinātniski pētnieciskā kodolreaktora IRT darbības nodrošināšanā un izmantošanas uzlabošanā" uzrakstīts latviešu valodā, sastāv no ievada un 5 nodaļām. Materiāls izklāstīts uz 103 lappusēm, satur 30 attēlus, 31 darbu un publikācijas. Promocijas darbā apkopoti veiktie pētījumi, zinātniskā un tehniskā jaunrade, kā arī analizēta darba praktiskā nozīme, kuru autors veicis vai arī vadījis darbu (vai piedalījies), strādājot Salaspils kodolreaktorā tā darbības laikā. Atbilstoši 2.,3.,4. un 5. nodaļu un apakšnodaļu virsrakstiem, kopsavilkumā dots promocijas darba satura izklāstījums.

Otrajā nodaļā (Modernizācija un iekārtu nomaiņas pētījumi) un tās apakšnodaļās tiek apskatīti nepieciešamie pētījumi, inženierfizikas aprēķini, reaktora iekārtu izvēle 5MW jaudai, atbilstoši kodoldrošības limitiem, bioloģiskās aizsardzības mērījumi, eksperimentu veikšanas iespēju palielināšana un to automatizācijas problēmas, dzesējošā ūdens augstas tīrības nodrošināšana, kodoldegvielas kodoldrošība un radiācijas drošība darbam augstas radiācijas apstākļos, iekārtu nomaiņas tehnoloģija.

Pētījumu analīzē konstatēta virkne labvēlīgu faktoru modernizācijas iespējamībai ar jaudas palielināšanu līdz 5MW un darbu veikšanai augstas radiācijas apstākļos:

**Pirmkārt**, mērījumi uzrādīja baseina bākas bioloģiskās aizsardzības rezervi. Bija iespēja izveidot kompakto aktīvo zonu ar paaugstinātu neitronu blīvumu, izmantojot jaunizstrādāto kodoldegvielu ar 90% bagātinātu urānu-235.

**Otrkārt**, bāka un iekšpusbākas iekārtas bija no alumīnija (ar  $^{28}\text{Al}$   $T_{1/2}=2,3$  min), kas atļāva veikt darbus tieši kodolreaktora baseina bākā. Kodolreaktorā bija ieviesta lieljaudīga iekārta dejonizēta ūdens ražošanai, kas tika izmantots aizsardzībai, veicot demontāžu zem ūdens.

Baseina bākas alumīnija korozija bija sākusies betona pusē, jo spraugā starp baseina bākas bioloģiskās aizsardzības betonu un baseina bākas alumīniju nokļuva ūdens. Kopā ar Moldāvijas zinātniekiem tika izstrādāta vienuspusēja bezsagraušanas alumīnija biezuma diagnostikas metodika.

Tika veiktas sekojošas iekārtu korozijas un bojājumu izpētes:

1. Kodoldegvielas alumīnija EK10 stienīšu apvalku korozija.[7]
2. Kodoldegvielas mehāniskie bojājumi un termiskās slodzes deformācijas.
3. Aktīvās zonas svina filtra bojājumi.
4. Bākas un bākas drenāžas korozijas bojājumi.
5. Izlietotās kodoldegvielas šahtas-glabātavas alumīnija baseina bākas korozijas bojājumi.
6. Kodoldegvielas pārlādēšanas kanālu korozijas bojājumi.
7. Siltummaiņu un pirmā kontūra filtru korpusu korozijas bojājumi.

Pēc iekārtu bojājumu bīstamības novērtēšanas Salaspils kodolreaktors 1968. gadā tika apturēts, bojātās iekārtas tika remontētas vai nomainītas pret jaunām.

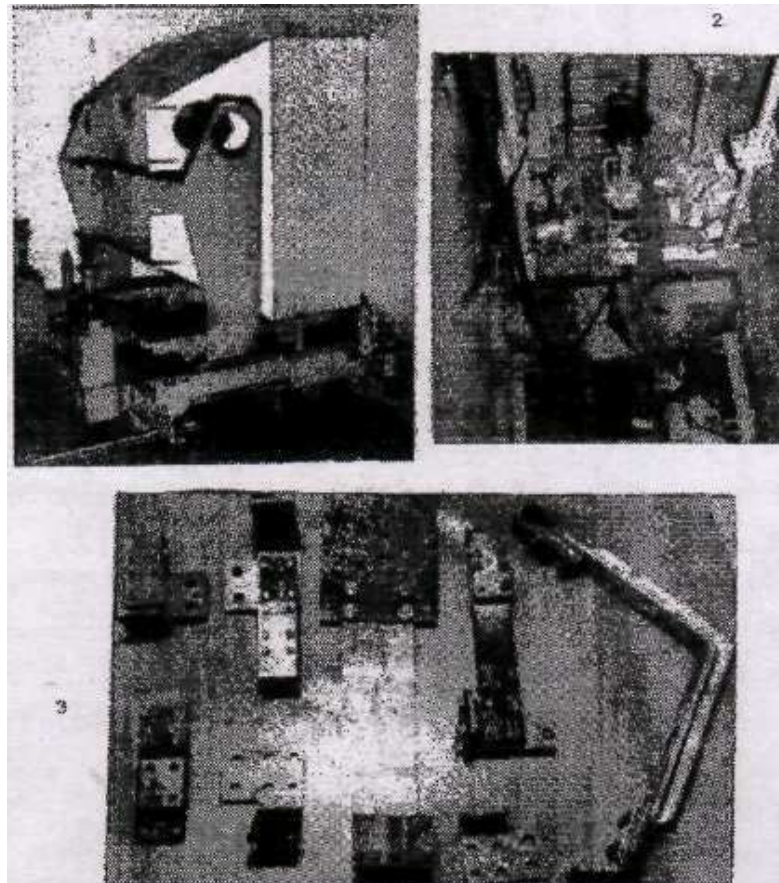
Baseina alumīnija bākai tika veikts pagaidu remonts, nomainot bojātās vietas ar jaunu alumīniju, lietojot metināšanas tehnoloģiju un drošības kontroli.

Vienlaicīgi tika izstrādāta tehnoloģija, ierīces un darba paņēmieni baseina bākas remontam (gadījumiem ja rastos neparedzētas sūces). Minētie pasākumi deva iespēju kodolreaktoram nostrādāt četrus gadus līdz jaunas bākas projekta izstrādei un tās izgatavošanai no nerūsošā tērauda.

**Tika uzsākta kodolreaktora modernizācija.** Aktīvo zonu dzesējoša ūdens plūsma tika izmainīta uz pretējo: no augšas uz leju, izmantojot ežektoru. Šāds risinājums novērš kodoldegvielas vibrācijas un hidrauliskos triecienus, atbrīvojot aktīvo zonu no kasešu piespiedēja un hidrauliskā atsitējvairoga.

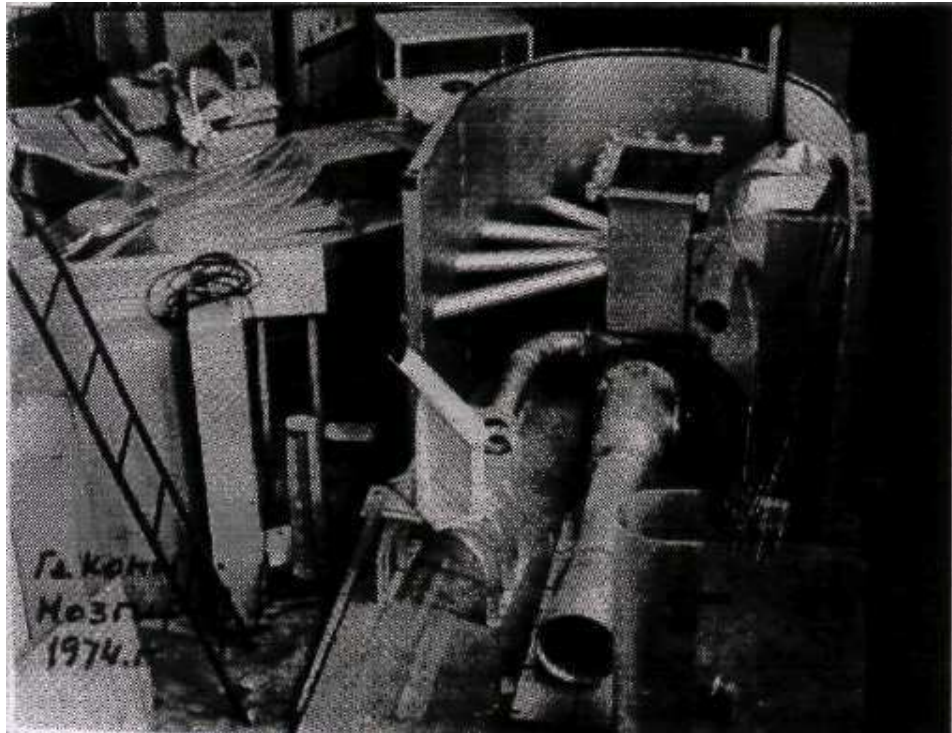
Aktīvā zona tika izveidota ar ieliekamu daļu EK 10 kasešu ekspluatācijai, lai, izņemot ieliekamo daļu, kodolreaktors varētu turpināt darboties ar kodoldegvielas IRT M tipa kasetēm.

Otrais modernizācijas posms tika realizēts atbilstoši IRT-5000 projektam, rezultātā iegūstot 5 MW kodolreaktora siltumjaudu ar siltuma neitronu plūsmu aktīvajā zonā  $8 \cdot 10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$ . Lai to sasniegtu, tika demontētas visas iekšpusbaseina bākas iekārtas, pielietojot metāla elektrogriešanas mašīnu 2.1.att. Darba tehnoloģijas piestrādi un grafiņa griešanas elektrodu iestādīšanu vispirms imitēja uz kodolreaktora baseina bākas apakšējās sekcijas maketa, kas tika izgatavots dabīgā lielumā (2.2.att).



2.1.att.. Kodolreaktora demontāžas ierīces un instrumenti darbam baseina zem ūdens un bez tā. 1.-siltuma kolonas atdalīšanas ierīce pēc tās nogriešanas; 2-elektroloka griešanas darbagalds un mašīna; 3-speciālie grafiņa griešanas elektrodi.





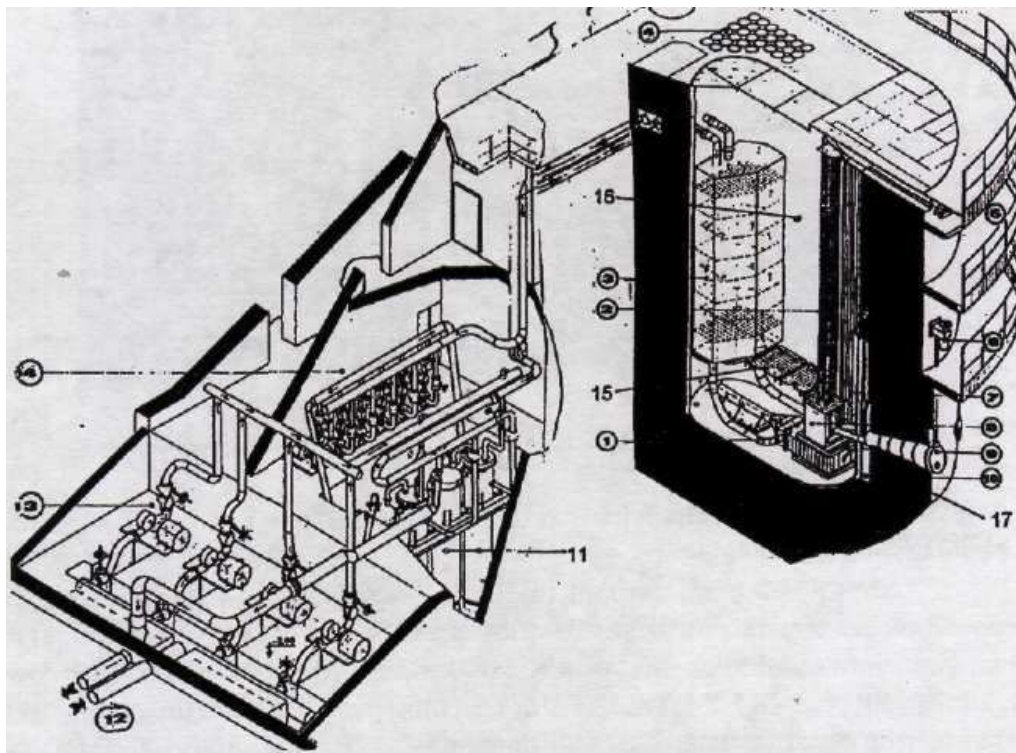
2.2.att. Kodolreaktora IRT-5000 baseina apakšējās sekcijas makets.

Demontēto radioaktīvo iekārtu drošai uzglabāšanai kodolreaktora teritorijā uzbūvēja glabātavu ar šahtām.

Tika uzstādīta un samontēta jauna nerūsošā tērauda baseina bāka, samontētas jaunās iekšpus bākas kodolreaktora iekārtas, kodolreaktora aktīvajā zonā nomainītas kodoldegvielas EK-10 kasetes ar 10% urāna-235 izotopa bagātinājumu pret IRT2M un IRT3M kasetēm (ar 90% bagātinājumu), aktīvās zonas neitrona grafīta atstarotājs tika nomainīts ar beriliju, atbilstoši 5MW jaudai radīti pirmais un otrais dzesēšanas kontūri.

Vienlaicīgi tika ierīkoti pneimopasti radioaktīvo paraugu transportēšanai, aprīkota silto neitronu iegūšanas grafīta kolona HEK Nr.1. HEK Nr.4 tika pārprojektēts un izveidots kā baseinam cauri ejoša konstrukcija, tā apkalpošana izveidota no abiem galiem (vienā galā ievada pētāmo paraugu, otrā veic mērījumus). HEK Nr.7 tika pārveidots par pieskares kanālu ar oriģinālas konstrukcijas viendaļīgu kanāla aizvaru.

Trešajā nodaļā (Modernizētā kodolreaktora IRT-5000 jaunās iekārtas un sistēmas) izklāstīta modernizētā kodolreaktora IRT-5000 jaunās iekārtas un sistēmas [20,21], to kopīgais salikums attēlots 3.1.att.

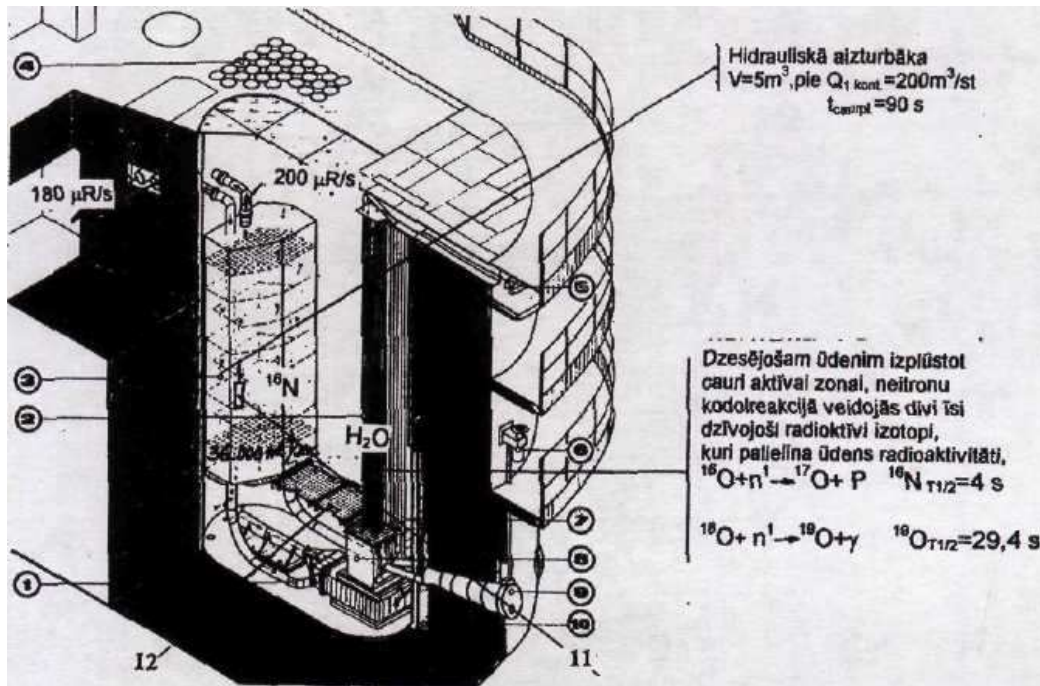


3.1.att. Modernizētais kodolreaktors IRT-5000: baseins un I,II dzesējošo kontūru sūkņu telpas

1-dzesēšanas cauruļvads ar ežektora sprauslu; 2-reaktora vadības kanāli; 3-hidrauliskā aizturtvertne; 4-radioaktīvo priekšmetu sausā glabātava; 5-vadības stieņu piedziņas servomotori; 6-HEK aizvaru piedziņas; 7-vertikālie eksperimentālie kanāli; 8-aktīvā zona; 9-horizontālais eksperimentālais kanāls (HEK); 10-reaktora siltumekrāns; 11-siltummaiņi; 12-otrā dzesēšanas kontūra cauruļvadi, kuri turpinājumā savienojas ar dzesēšanas torni; 13-otrā kontūra sūkņu telpa; 14-pirmā dzesēšanas kontūra sūkņu telpa; 15-hidrauliskais atsitējrežģis; 16-baseina bāka; 17-smagā betona bioloģiskā aizsardzība

**Kodolreaktora baseina bāka.** Bojātās alumīnija baseina bākas iekšpuse novietota jaunā nerūsošā tērauda bāka, atstājot starp abām spraugu (100 mm). Sprauga aizpildīta ar aizsardzības betonu. Kodolreaktora baseina bākas augšējais noslēgvāks ir oriģinālas konstrukcijas un projektēts vertikālās bioloģiskās aizsardzības papildināšanai līdz slodzei 10t.

**Hidrauliskā aiztursistēma.** Lai samazinātu pirmajā kontūra ūdens radioaktivitāti, izveidota hidrauliskā aiztursistēma (3.2.att.), kas sastāv no divām Latvijā jaunradītām iekārtām: hidrauliska atsītējrežģa (12) un hidrauliskās aizturbākas (3).



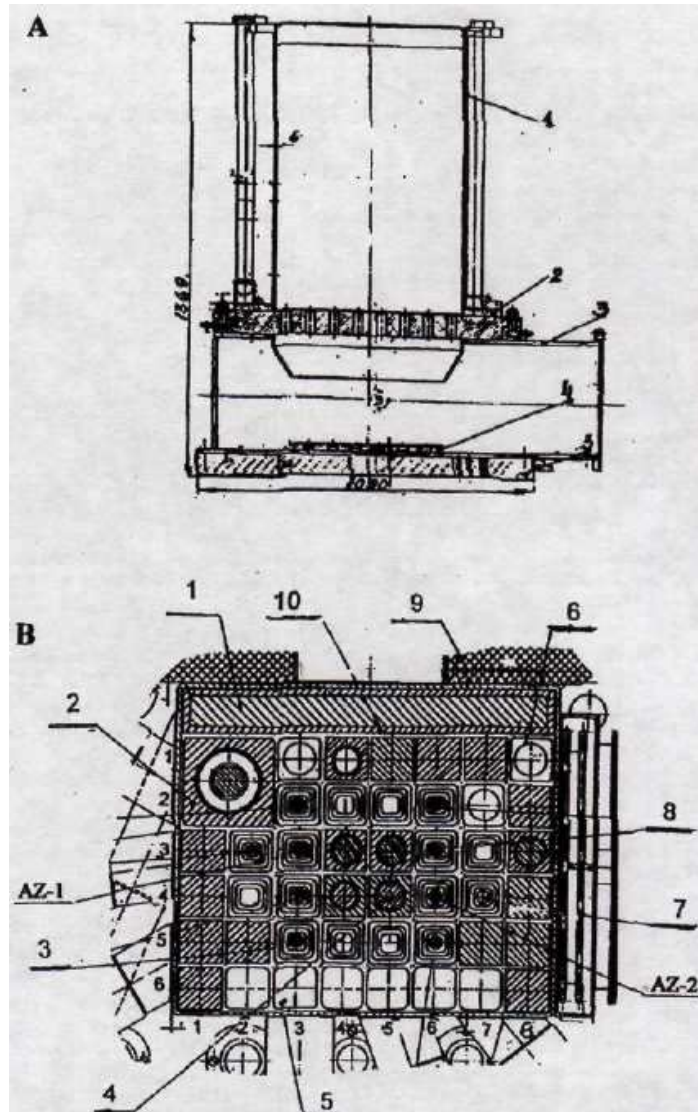
3.2.att Hidrauliska aiztursistēma

1-dzesējošais cauruļvads; 2-vadības kanāli; 3-hidrauliska aizturbāka; 4-radioaktīvo paraugu glabātuve; 5-vadības stieņu piedziņas servomotori; 6-aizvara piedziņa; 7-vertikālais eksperimentālais kanāls; 8-aktīvā zona; 9-horizontālais eksperimentālais kanāls; 10-siltumekrāns; 11-jonizācijas kamera; 12-hidrauliskais atsītējrežģis.

Aktīvajā zonā neitronu satveršanas kodolreakcijā ūdens skābeklis veido divus radioaktīvus izotopus  $^{16}\text{N}$  un  $^{19}\text{O}$ . Kā galvenais radioaktivitātes nesējs ūdenī ir slāpekļa-16 izotops ar pussabrukšanas periodu 4s. Hidrauliskajā aizturbākā ūdens caurplūst 90s. Šajā laikā  $^{16}\text{N}$  un  $^{19}\text{O}$  zaudē radioaktivitāti ~200 reizes. Radioaktivitāte sabrukšanas laikā saglabājas kodolreaktora baseina bākā aiz ūdens bioloģiskās aizsardzības. Šāda pirmā kontūra dzesēšanas shēma tika aprēķināta un ieviesta Salaspils kodolreaktora modernizācijas projektā jaudas palielināšanai līdz 5MW.

**Kodolreaktora aktīvā zona** aizņem salīdzinoši nelielu apjomu no kodolreaktora iekārtām, taču tai ir pakārtotas visas pārējās iekārtas. Aktīvā zona novietota baseina bākas dibenā zem 7m bieza atsāļota ūdens slāņa (3.3.att).





3.3.att. Kodolreaktora IRT-5000 aktīvā zona

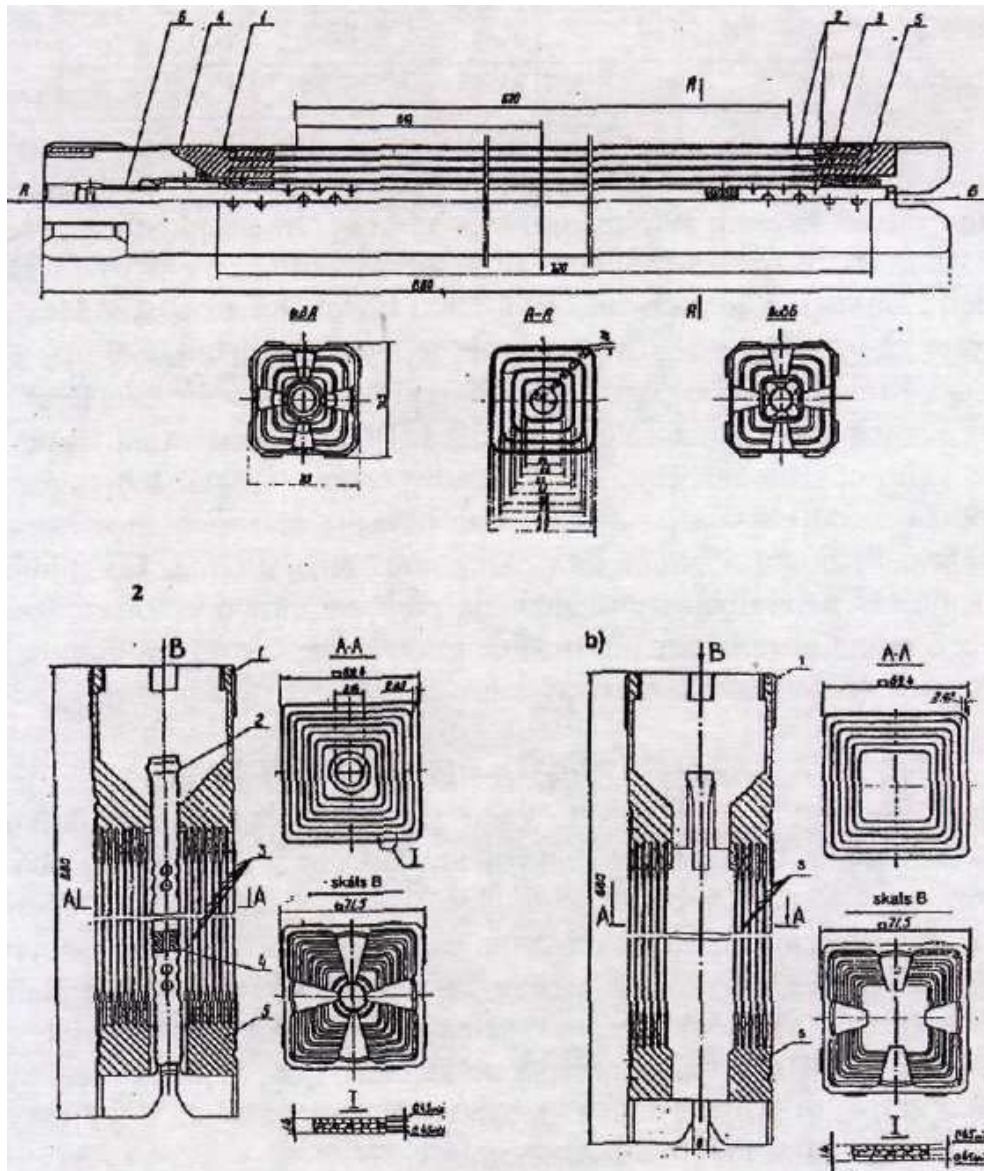
1-svina filtrs; 2-speciāls berilija bloks; 3-vadības stieņi; 4-berilija bloks; 5-kasetes imitators; 6-ūdens izspiedējs; 7-radiācijas kontūra ģenerators; 8-kodoldegvielas kasetes; 9-siltuma kolona; 10-berilija bloks (atstarotājs).

**Augšējais korpuss** 3.3.att. A (1) un B virsskatā, tajā tiek salikts viss, kas saistīts ar ķēdes reakcijas izraisīšanu un vadīšanu. Kodolreaktora darba aktīvā zona sastāv no 30 kodoldegvielas kasetēm (8), kasetes ar apstarojamiem paraugiem (5), berilija bloka ar iekšējo siltumneitronu slazdu (2). Pārējās ligzdās uzstādīti berilija neitronu atstarotāja bloki (līdz 20 blokiem) (2,4), ūdens izspiedēja kasetes (6), vadības stieņi (3), aizsardzības stieņi AZ-1 un AZ-2.

**Apakšējais korpuss** 3.3.att. A (3), starp augšējo un apakšējo korpusu novietots aktīvās zonas atbalstrežģis, viena no kodolreaktora svarīgākajām un precīzākajām sastāvdaļām 3.3.att. A (2). Pie apakšējā korpusa četrstūrīnā atloka piestiprināts ežektors ar sprauslu un difuzoru 3.1.att. (1), kas nodrošina, ka cauri aktīvajai zonai izplūst ievērojami vairāk dzesējošā ūdens, nekā caur pirmo

dzesēšanas kontūru, ežekcijas koeficients 4. Ežektors nodrošina siltumnovadīšanu no kodoldegvielas kasetēm gadījumā, ja pēkšņi apstājas pirmā kontūra sūkņi.

Kodoldegviela. Salaspils kodolreaktors bija pirmais zinātniskais kodolreaktors, kurā pēc modernizācijas tika pārbaudīta reālos darba apstākļos jaunās augsti bagātinātās (90%) kodoldegvielas kasetes IRT-2M (trīs elementi), IRT-2M (četri elementi), IRT-3M (seši elementi), IRT-3M (astoņi elementi) 3.4.att.



3.4.att Kodolreaktora IRT-5000 kodoldegvielas kasetes

- 1) IRT-2M. 4 cauruļu kasete: 1-ārējā siltumizdalīšanās caurule; 2- vidējās siltumizdalīšanās caurules; 3- iekšējā izvelkamā siltumizdalīšanās caurule; 4- augšējais uzgalis; 5- apakšējais uzgalis; 6- izspiedējs 016mm;
- 2) IRT-3M. a) 8 cauruļu kasete; b) 6 cauruļu kasete: 1,5- kasetes alumīnija gali; 2,4- ūdens caurplūdes ierobežotājs; 3- siltumizdalīšanās elementa četrstūra caurule

## Dati par aktīvo zonu ar kodoldegvielu.

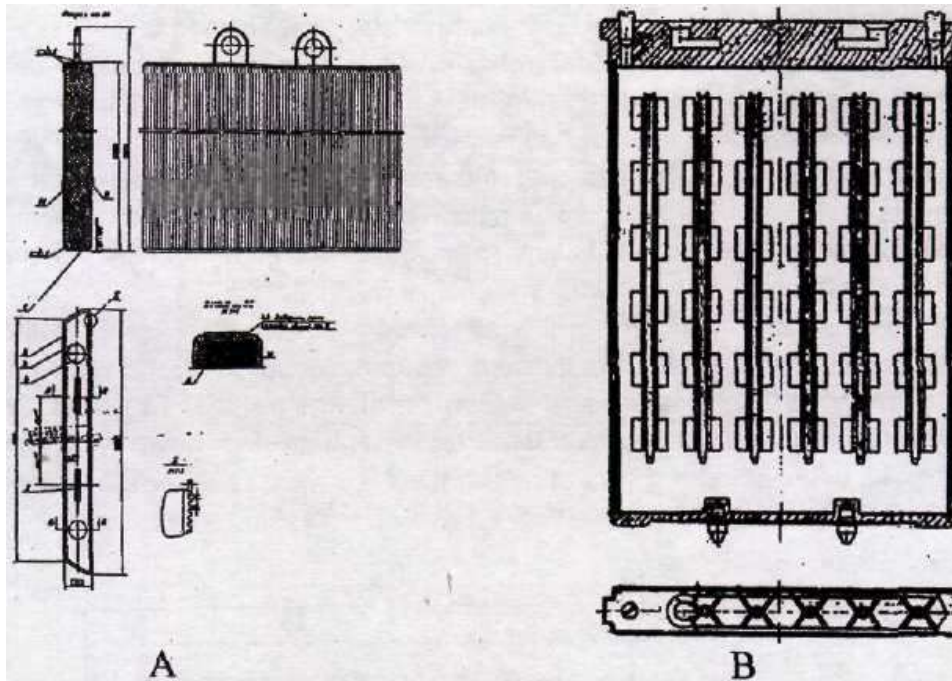
	IRT-2M		IRT-3M	
	3gab.	4gab.	6gab.	8gab.
Kodoldegvielas elementi kasetē	3gab.	4gab.	6gab.	8gab.
Bagātinājums ar U-235	90%	90%	90%	90%
U-235 daudzums, g	148,3	173,0	269,3	305,0
U-238 daudzums, g	16,5	19,2	29,9	33,9
Alumīniis aktīvaiā zonā, g	566	661	977	1112
Kasetes solis, mm	71,5	71,5	71,5	71,5
Kasetes garums, mm	880	880	880	880
Kopējais svars, g	2800	3300	3800	4300

**Augsti radioaktīvās izstrādātās kodoldegvielas pārlādēšanas pusautomātiska sistēma [9]**, ar kuru tiek veiktas līdz 200 kodoldegvielas kasešu pārlādēšanas operācijas gadā, pārvietojot tās no aktīvās zonas uz šahtu-glabātuvi un pretēji. Tipveida kodolreaktora IRT-1000 kodoldegvielas pārlādēšanas sistēma bija nepilnīga (složu nesabalansētība, nespēja strādāt elektroenerģijas atslēgšanās gadījumā). Kodoldegvielas pārlādēšana tika veikta uz baseina augšējās platformas ar svina konteineru un tilta celtni palīdzību. Pārkraušanas svina konteineru svars 5,2t, bet zāles celtni celtni 5,0 t, līdz ar to celtnis tika pārslogots par 10%. Ēka tika slogota vienā un tajā pašā vietā, kas izraisīja plaisu rašanos ēkas sienās un pārsegumos. Pētījumu rezultātā tika radīta autonoma sistēma, kas pilnībā novērš iepriekšminētās nepilnības un samazināja pārkraušanas operācijas ilgumu no 60 min. līdz 5 min. Operativitāte un drošība ir noteicošie faktori gadījumos, kad jāveic kodoldegvielas izņemšana no aktīvās zonas neparedzētos vai avārijas gadījumos.

**Augsti radioaktīvās izstrādātās kodoldegvielas glabātavas rekonstrukcija [27]**. Izlietotajā kodoldegvielā notiek radioaktīvo izotopu sabrukšana, izdalot lielu siltuma daudzumu, tāpēc to 5-6 gadus uzglabā ūdenī. Šo laika periodu tā atrodas speciālā šahtā-glabātavā un tiek dzesēta ar ūdeni. Kasešu nonākšana gaisa atmosfērā tiek uzskatīta par kodolavāriju, jo ir iespējama kasešu hermētiskā alumīnija apvalka izkušana. Izstrādātās kodoldegvielas glabātavā tiek novietotas līdz 100 kodoldegvielas kasetēm. Izstrādātās kodoldegvielas glabātava tipa projektā IRT-1000 bija izgatavota no alumīnija un, līdzīgi kā reaktora baseina bāka, bija korozijas bojāta. Jaunā glabātavas bāka izgatavota zviedru firmas ABB Alstrom Power rūpnīcā no nerūsošā tērauda 321H.

**Aktīvās zonas svina filtrs.** Projektā IRT-1000 svina filtrs (3.5.att.A) bija novietots spraugā starp aktīvās zonas korpusu un siltuma kolonas plakni. Neitronu satveršanas rezultātā svina vairoga virsmas temperatūra sasniedz 90°C. Vairogs radiolīzes rezultātā uzbrieda, radot mikroplaisas alumīnija apvalkā. Uzbriešana deformēja svina filtru par 15mm, kā rezultātā kodolreaktora aktīvā zona deformējās par 10 mm, saspiežot kodoldegvielas kasetes.





3.5.att. Aktīvas zonas svina filtri

A-kodolreaktora IRT-1000 svina filtrs; B-kodolreaktora IRT-5000 svina filtrs

Šai ļoti bīstamajai problēmai bija jāmeklē būtiski jauns risinājums. Kodolreaktora IRT-5000 modernizācijas projektā svina filtrs 3.5.att. B (1) tika novietots aktīvas zonas korpusā un pakļauts intensīvai piespiedu dzesēšanai, atrisinot visas ar to saistītās problēmas. Aktīvās zonas svina filtra jaunajā, **oriģinālajā konstrukcijā** (3.5.att. B) sānu pamatplaknēs, lai palielinātu filtra korpusa dzesēšanas virsmas laukumu, izveidots papildus virsmas robojums. Konstrukcijas iekšpusē izveidoti cilpveidīgi malu saturelementi spiediena spēka uzņemšanai.

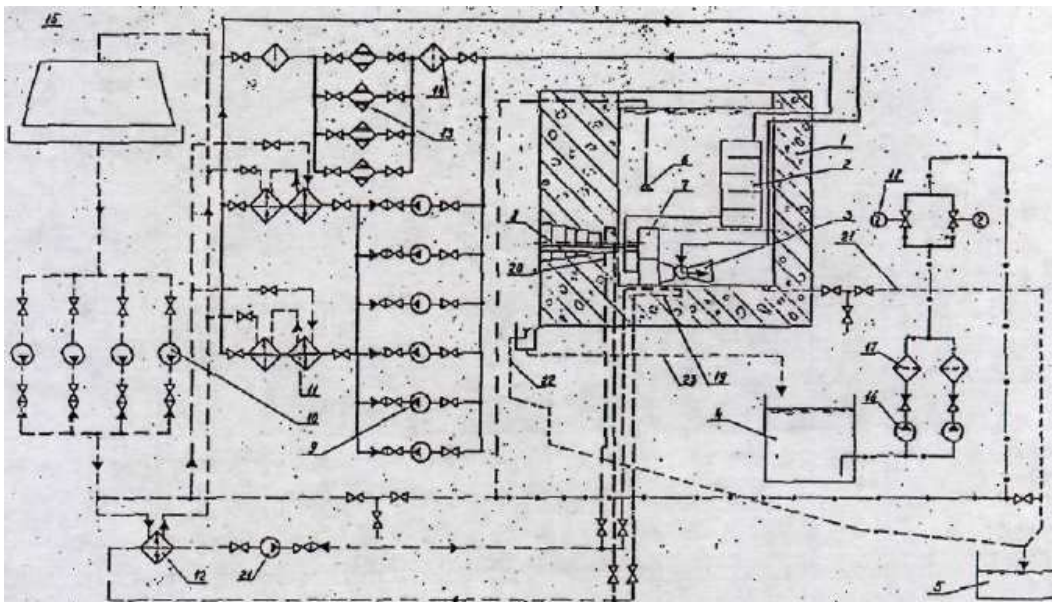
**Aktīvas zonas avārijas dzesēšanas sistēma.** Hipotētisko avāriju analīzes rezultātā tika izveidota aktīvās zonas avārijas dzesēšanas sistēma, kas nepieļauj kodoldegvielas izkušanu, ja rodas sūce kādā no desmit horizontālajiem eksperimentālajiem kanāliem. Avārijas sistēma sastāv no ūdens savākšanas un padeves līnijām. Aktīvās zonas dzesēšanas sistēmas duša ar cauruļvadu ir iemontēta bākas augšējā daļā virs aktīvās zonas. Avārijas dzesēšanas sistēma tiek pārbaudīta pirms katras kodolreaktora iedarbināšanas un avārijas situāciju mācību treniņos.

**Modernizēta kodolreaktora dzesēšanas sistēma [18;20;]** Modernizēta kodolreaktora IRT-5000 dzesēšanas sistēma attēlota 3.6.att. Jaunizveidotā reaktora aktīvajā zonā kodoldegviela IRT-M tiek intensīvi dzesēta ar dejonizētu

ūdeni. Ūdens cirkulācijas virziens cauri aktīvajai zonai tiek virzīts no augšas uz leju (pretēji IRT-1000 variantā), izmantojot sūkņus un ežektoru.

**Pirmais dzesēšanas kontūrs** ir hermētiski slēgts kontūrs, kurā cirkulē dejonizētais ūdens, dzesējot kodoldegvielu kodolreaktora aktīvajā zonā. Sistēma ir radioaktīva, tā sastāv no: ežektora (3), hidrauliskās aizturbākas (2), hidrauliskā atsīvējrežģa, sešiem sūkņiem (9), četriem siltummaiņiem (11), sešiem ūdens filtriem (13). Pirmais dzesēšanas kontūrs pamatā izgatavots no nerūsošā tērauda, izņemot aktīvās zonas korpusu un ežektoru. Ūdens tīrību nodrošina jonu apmaiņas filtru sistēma. Pirmā dzesēšanas kontūra ūdens cirkulācijas ražība  $280 \text{ m}^3 / \text{st}$ .

**Otrais dzesēšanas kontūrs** pildīts ar tehnisko ūdeni, dzesē pirmā kontūra ūdeni siltummaiņos un sastāv no: četriem siltummaiņiem (11), četriem cirkulācijas sūkņiem (9), dzesēšanas torņa ar sešiem ventilatoriem (15). Tā ražība  $1000 \text{ m}^3 / \text{st}$ . Siltums no otrā kontūra ar dzesēšanas torņa ventilatoriem tiek novadīts atmosfērā. Tehniskā ūdens papildināšana otrajā kontūrā tiek veikta no kopīgās ūdens apgādes sistēmas līdz  $20 \text{ m}^3 / \text{st}$ .



3.6.att. Modernizēta kodolreaktora IRT-5000 dzesēšanas sistēma

1-bioloģiskā aizsardzība; 2-hidrauliskā aizturbāka; 3-ežektors; 4-notekūdeņu savāktuves tvertne; 5- radioaktīvo notekūdeņu savākšanas  $100 \text{ m}^3$  tvertne; 6-dušēšanas iekārta; 7-aktīvā zona; 8-pirmais kanāls; 9-pirmā kontūra sūkņi; 10-otrā kontūra sūkņi; 11-siltummaiņi; 12-trešā kontūra siltummainis; 13-jonītu filtri; 14-mehāniskie filtri; 15-dzesēšanas tornis; 16-sūkņi; 17-mehāniskie filtri; 18-ventiļi ar programmētu piedziņu; 19-trešā kontūra dzesēšanas ietaise; 20-starpbāku dzesēšanas ietaise; 21-trešā kontūra sūkņi; 22-savākšanas kolektors; 23-drenāžas cauruļvads.



**Ceturtajā nodaļā** (Modernizētas eksperimentālas iekārtas kodolreaktora starojuma izmantošana pētījumos) iztirzātas modernizētās eksperimentālās iekārtas kodolreaktora starojuma izmantošanai, apstarošanas tehnoloģijas automatizācija un mehanizācijas problēmu pētījumi.

Eksperimentu veikšanas drošības jautājums kļuva īpaši aktuāls, kad kodolreaktors tiek darbināts nepārtrauktā nedēļas režīmā un augstas radiācijas dēļ nav iespējams atvērt eksperimentālos kanālus, lai izmainītu apstarošanas tehnoloģiju un nosacījumus.

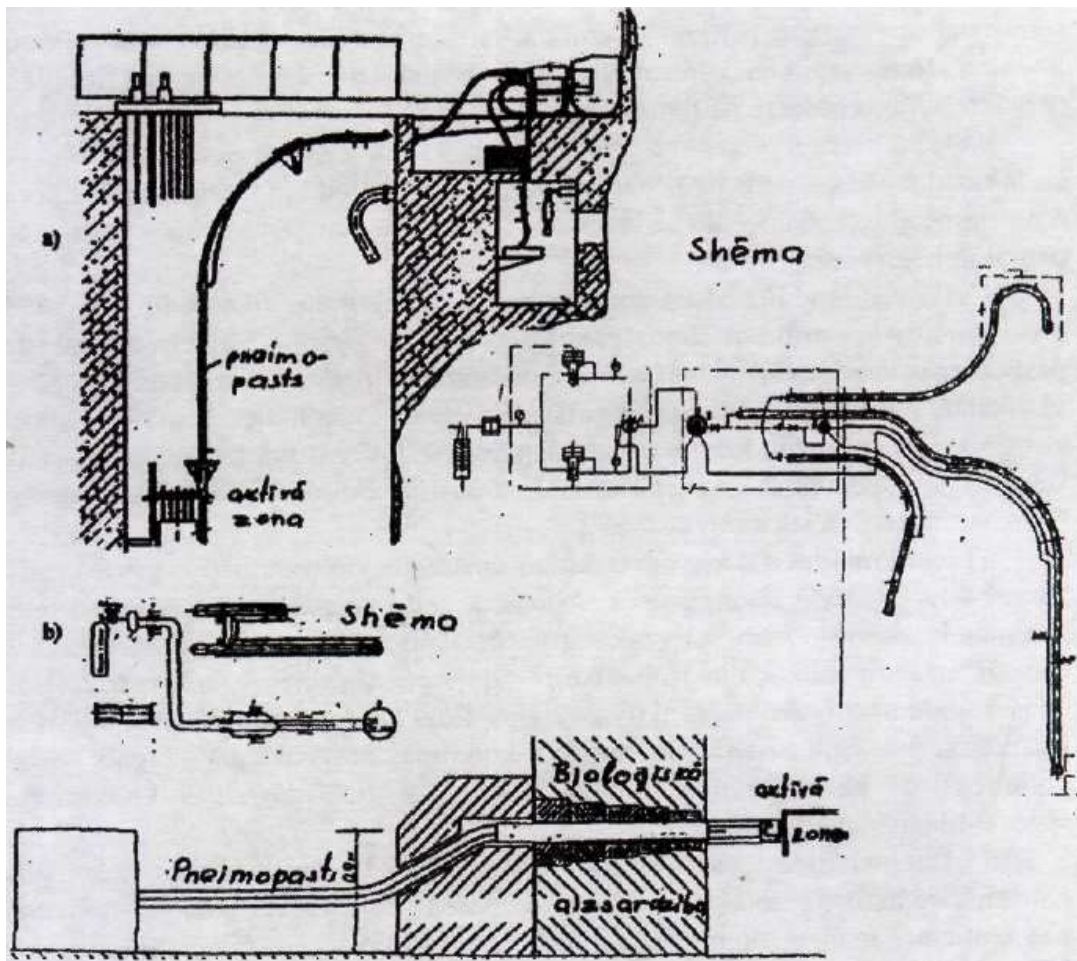
Salaspils kodolreaktorā (autora vadībā) veiksmīgi tika radīti un ieviesti **pusautomātiski unikālu konstrukciju** vertikālie kanāli: elektromagnētiskais pasts, vertikālais pneimatiskais pasts, horizontālais pneimatiskais pasts, peldošais vertikālais eksperimentālais kanāls, izliektie vertikālie kanāli. Minētās konstrukcijas ļauj veikt kanālu pārlādēšanu arī kodolreaktoram strādājot uz jaudas, kas nebija iespējams kodolreaktora IRT-1000 tipa projektā. Turpmāk apskatīsim īsumā katru no šīm iekārtām atsevišķi.

**Elektromagnētiskais pasts** kalpo apstaroto vielu ātrai transportēšanai no atomreaktora aktīvās zonas, kur ir vislielākā neitronu plūsma, uz karsto kameru, kur notiek apstaroto vielu turpmākā apstrāde. Transporta konteineri pārvietojas pa cauruli, ap kuru apliktie elektroinduktori rada vertikālu skrejošu magnētisko lauku. Trases garums no reaktora aktīvās zonas līdz karstai kamerai -15m. Pasts ir hermētiski noslēgta sistēma iegremdēts kodolreaktora bākā un tā gals ievadīts kodolreaktora aktīvajā zonā, radioaktīvās gāzes tiek novadītas kodolreaktora specventilācijā un attīrītas.

**Pneimatiskie pastī.** Kodolreaktorā IRT apstarošana tiek veikta galvenokārt aktīvajā zonā, piekļūšana tai paredzēta caur vertikāli un horizontāli novietotiem kanāliem, kurus var atvērt, kad kodolreaktors ir nostāvējis zināmu laiku. Lai apstarošanu veiktu arī pie uz jaudas esoša kodolreaktora, tika radīti un ieviesti (autora vadībā) automātiski darbināmi paraugu transportēšanas pneimatiskie pastī.

Vertikālais pneimopasts 4.2.att. (a) [5] uzstādīts aktīvajā zonā, pneimotrase Ø52 mm, patronas tilpums 0,125 litri, transportēšanas ātrums līdz 10 m/sek., patronas svars līdz 0,3 kg, darbojas ar saspīestu gaisu. Pneimopasta patronas pārvietošanas lielais ātrums nodrošina zinātniskos pētījumus darbā ar izotopiem, kuru pussabrukšanas periods ir mazs, ātri nogādājot tos uz mērīšanas vietu. Slēgtā cauruļvadu sistēma izslēdz radioaktīvo gāzu noplūdi, bet automātika izslēdz nepieciešamību personālam kontaktēties ar radioaktīvo paraugu.

Horizontālais pneimopasts 4.2.att (b). Pneimopasta trases caurule Ø11 mm. Konteineru transportēšanas laiks līdz kodolreaktora aktīvajai zonai ir 1,5 sek., trases spiediens mazāks par latm, transportēšanai lieto saspīestu CO<sub>2</sub> gāzi. Transporta konteiners izgatavots no augstspiediena polietilēna. Pneimopastu izmanto īsi dzīvojošo izotopu un vielu aktivācijas analīžu veikšanai. Horizontālais pneimopasts ierīkots 5-tajā horizontālajā eksperimentālajā kanālā. Līnijas garums 25m, savieno aktīvo zonu ar mēriekārtu, kura novietota laboratorijā.



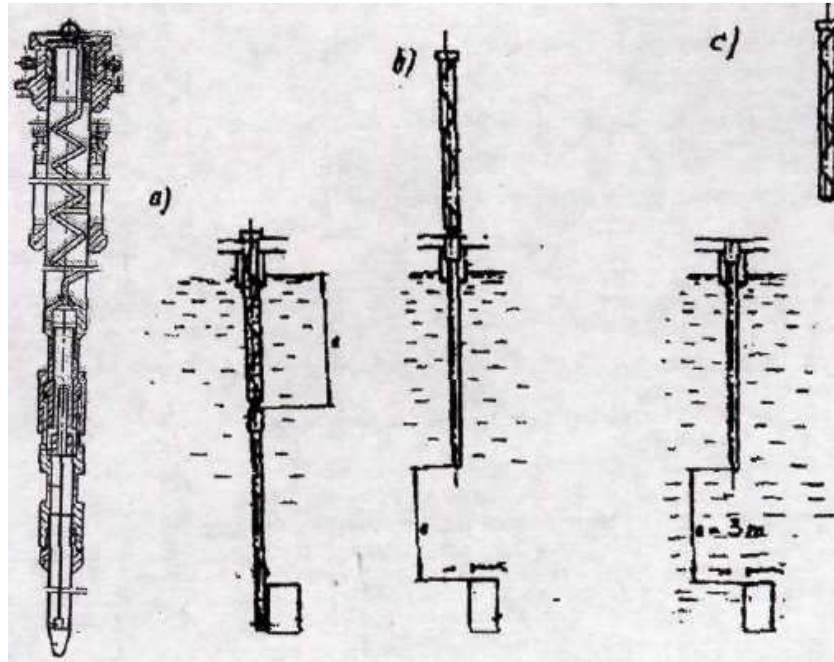
4.2.att. Kodolreaktora IRT-5000 pneimopasti

a - vertikālais pneimopasts radiācijas tehnoloģijas pētījumiem kodolreaktora aktīvajā zonā, b - horizontālais pneimopasts aktivācijas analīzes pētījumiem horizontālajā eksperimentālajā kanālā Nr.5.

**Secinājums:** automātiski darbināmi pasti nodrošina virkni priekšrocību, strādājot radiācijas apstākļos: iespēja apstarošanas procesu pilnīgi automatizēt, var pārsūtīt vielas ar samērā lielu radioaktivitāti, nelietojot smago bioloģisko aizsardzību visas pneimotrases garumā.

**Peldošais vertikālais eksperimentālais kanāls (VEK) 4.3. att.** ir oriģināls ar to, ka aizsardzībai pret aktīvās zonas starojumu tiek izmantots kodolreaktora bākas tehnoloģiskais ūdens. Funkcionāli peldošais VEK darbībā

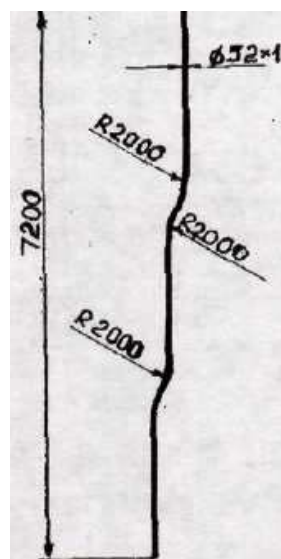
parādīts 4.4.att. Kanāla (Ø 52 mm) samērā vienkārša konstrukcija dod iespēju veikt mērījumus paraugu apstarošanas laikā.



4.3.att. Peldošais vertikālais eksperimentālais kanāls, Ø52 mm

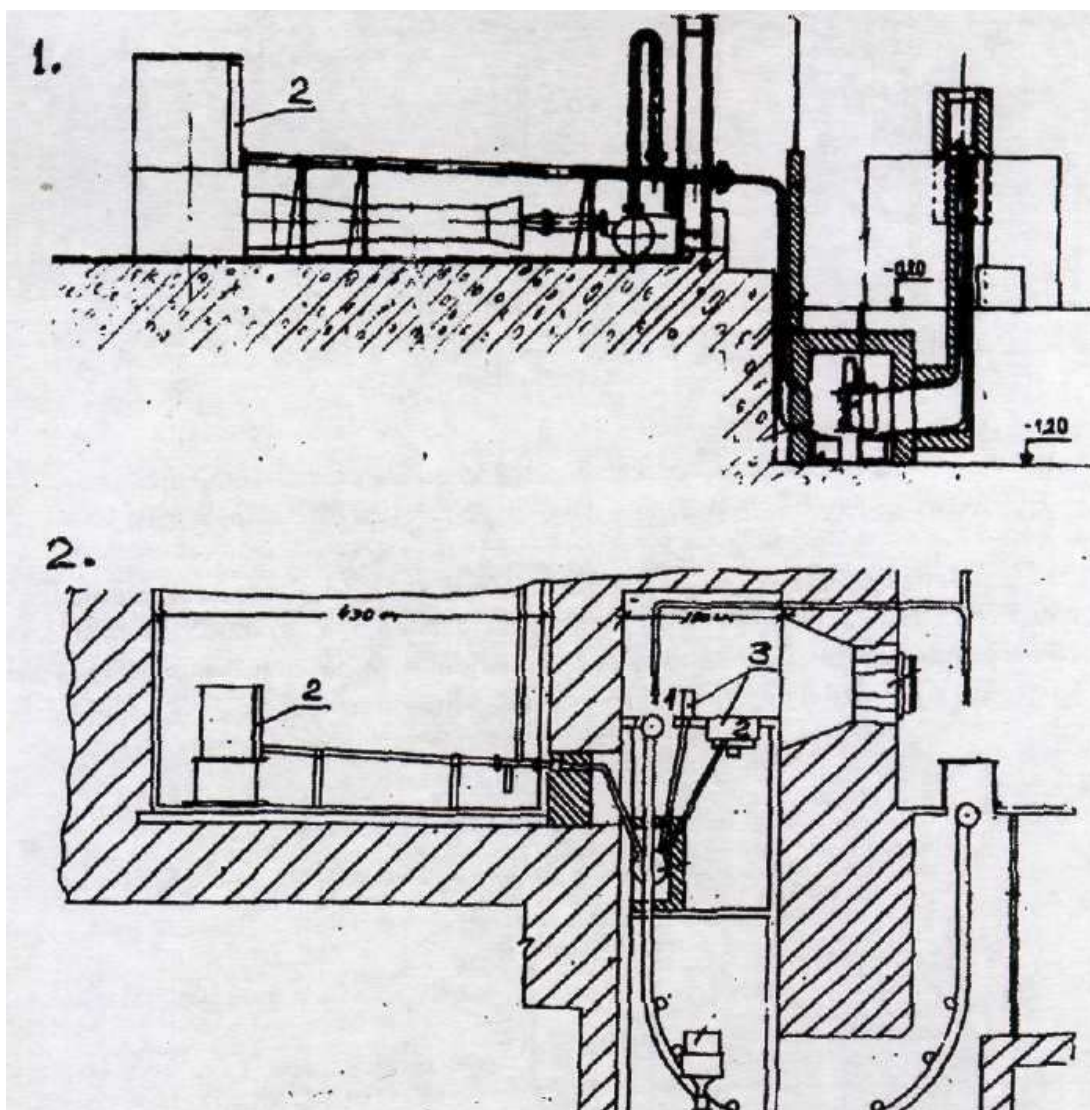
a - darba stāvoklis; b - paceltais stāvoklis; c - paraugu pārlādēšanas stāvoklis

**Izliektie vertikālie eksperimentālie kanāli (4.4. att.).** To unikalitāte-nav nepieciešama kanāla smagā bioloģiskā aizsardzība, to pilda kodolreaktora bākas tehnoloģiskais ūdens. Izliekto daļu pārklāj 4 m baseina bākas ūdens slānis, kas veido aizsardzību pret tiešo aktīvās zonas starojumu.



4.4.att. Izliektie vertikālie eksperimentālie kanāli

Radiācijas kontūrs (RK) ir oriģinālas konstrukcijas tīru gamma staru avots, 4.5.att. (1,2,3), piesaistīts aktīvajai zonai. Autors, strādājot kopā ar fiziķiem, radījis radiācijas kontūra noslēgtās cilpas (3) metāla konstrukcijas, komunikācijas ar slēgiem, jaucējiem, kā arī radiācijas kontūra aprīkojumu. Konstruktīvi radiācijas kontūrs sastāv no magnetohidrodinamiskiem sūkņiem, kuri sūknē šķidra metāla (indijs-gallijs-alva) sakausējumu no aktīvas zonas aktivitātes ģeneratora (2) uz "karsto" kameru, kurā novietoti gamma starojuma avoti (3) vielu apstarošanai. To darba jauda 1,8 PBq, bet starojuma intensitāte līdz 190 Gy/h.



4.5.att. Radiācijas kontūrs

1- kopskats ar kodolreaktoru un karsto kameru; 2 - aktivitātes ģenerators; 2 - radiācijas kontūra lifta kopskats, 3 - apstarotāji: (1)-6Mrad/st; (2)-19 Mrad/st;



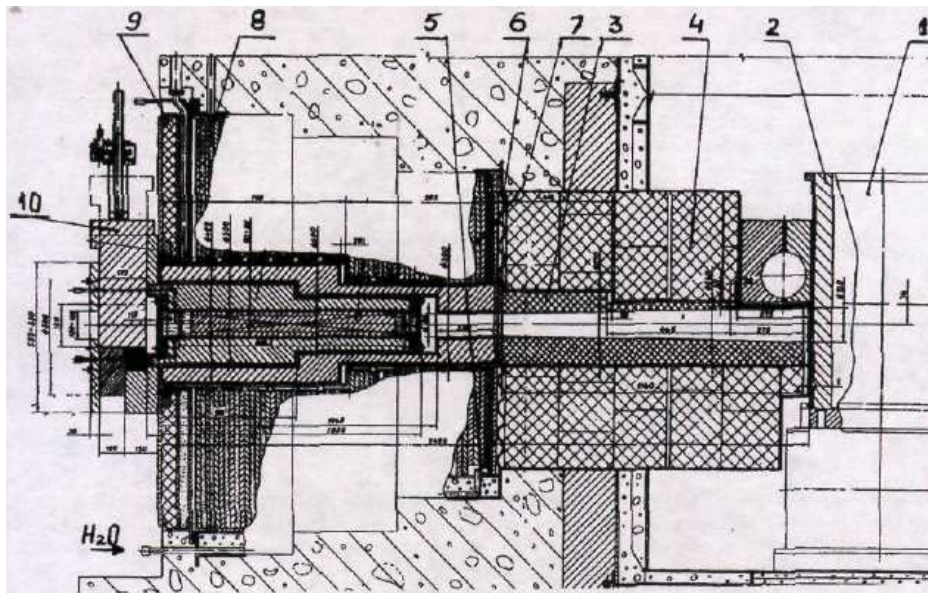
## Pirmais eksperimentālais kanāls (siltuma kolona)[7].

Pirmais eksperimentālais kanāls (siltuma kolona) tika aprīkots, lai:

1. Iegūtu maksimālu siltuma neitronu plūsmu;
2. Veiktu liela izmēra paraugu apstarošanu ar siltuma neitroniem, kanāla  $\varnothing 230\text{mm}$ ;
3. Strādātu ar zemām temperatūrām ( $-188\text{ }^{\circ}\text{C}$ );

**Siltuma kolona sastāv no divām galvenajām daļām:** grafīta un bioloģiskās aizsardzības. Siltuma kolonas **grafīta daļa** piekļaujas kodolreaktora aktīvās zonas korpusa vienai plaknei un saņem 1/6 daļu no aktīvās zonas starojuma. Siltuma kolonas grafīta daļas taisnstūra prizma (4) ir salikta no grafīta blokiem (viena bloka izmērs  $0,2\text{m} \times 0,2\text{m} \times 0,5\text{m}$ ), grafīta krāvuma ( $1\text{m} \times 1\text{m} \times 1,5\text{m}$ ) kopējais svars 5t.

Grafīta uzdevums ir aktīvajā zonā radušos neitronus palēnināt līdz siltuma neitronu enerģijai, kā rezultātā sagaidāma grafīta radiācijas augšana (Vīgnera enerģijas uzkrāšanās). Lai novērstu siltuma kolonas apvalka plaisāšanu,



4.6.att. Pirmais eksperimentālais kanāls (siltuma kolona)

- 1-aktīvā zona; 2-svina vairogs; 3-kanāls; 4- grafīta bloki, 5-dzesēšanas caurules; 6-espanders; 7- tērauda loksnes; 8- kārtainie aizsardzības bloki; 9- parafīna aizsardzības bloks; 10 svina aizsardzība

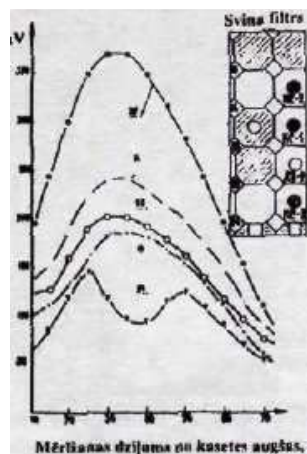
konstrukcijā tika paredzēta grafīta termiskā atkvēlināšana, karsējot grafīta krāvumu ar 14KW elektroierīcēm un izveidojot grafīta augšanai kompensējošu, elastīgu konstrukciju (espanders) (6). Eksploatācijas laikā grafītu dzesē ūdens siltummainis, kas novietots starp grafīta krāvumu un bioloģisko aizsardzību un ir pieslēgts kodolreaktora pirmajam dzesēšanas kontūram



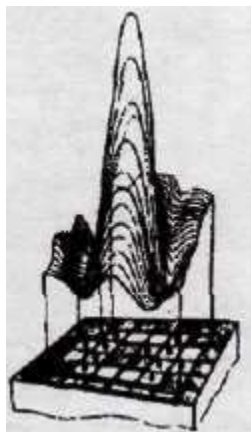
**Piektajā nodaļā** (Salaspils kodolreaktora aprobācija pēc modernizācijas) [21;23;25;]. Nodaļā izklāstīta aktīvās zonas dzesēšanas aprobācija, iekārtu kopdarbības aprobācija 25000 darba stundas un iekārtu kopdarbības aprobācija 35000 darba stundās ar apstaroto materiāla paraugu 12X18H10T laboratorisku izpēti.

**Aktīvās zonas dzesēšanas aprobācija** tika veikta tūlīt pēc kodolreaktora iedarbināšanas, noteicot neitronu plūsmas lielumu un siltuma izdalīšanās sadalījumu. Neitronu plūsmas lielums ir proporcionāls siltuma izdalīšanās lielumam. Iegūtais aktīvās zonas siltuma neitronu plūsmas sadalījums horizontālā

plaknē parādīts 5.1.att., bet telpiskais sadalījums  $\varphi_T(x,y,z)$  5.2.att. secinot, ka enerģētiski visnoslogotākās kodoldegvielas kasetes ir aktīvās zonas centra ligzdās.



5.1 .att. Siltuma neitronu blīvuma sadalījums pa aktīvās zonas augstumu



5.2.att. Siltuma neitronu blīvuma sadalījums aktīvajā zonā

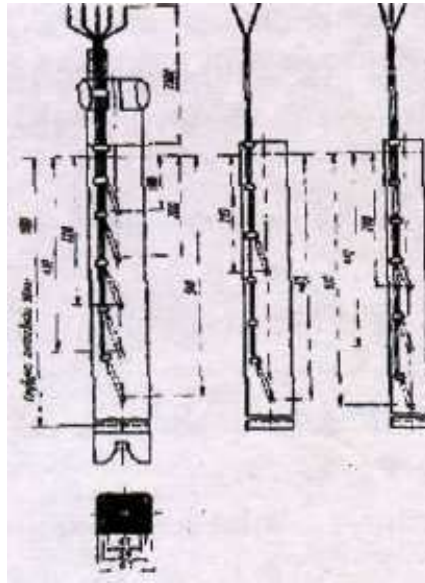
Šajās ligzdās tika ievietota temperatūras mērījumiem izveidota kodoldegvielas termometriskā kasete ar 10 termoelektriskiem pārveidotājiem (5.3.att.), ūdens sasilšanas temperatūras dinamikas noteikšanai.

Hipotētiski visbīstamākais aktīvās zonas dzesēšanas režīms ir brīdī, kad apturot kodolreaktoru, aktīvās zonas dzesēšanu nodrošina baseina bākas ūdens konvekcijas cirkulācija, dzesējot līdz 300 kW palikušo siltumu.

**Secinājums.** Noskaidrots, ka kritiskais stāvoklis iestājas pēc apturēšanas 9. sekundē, kad ūdens plūsma apstājas un maina virzienu. Aktīvās zonas dzesēšanu

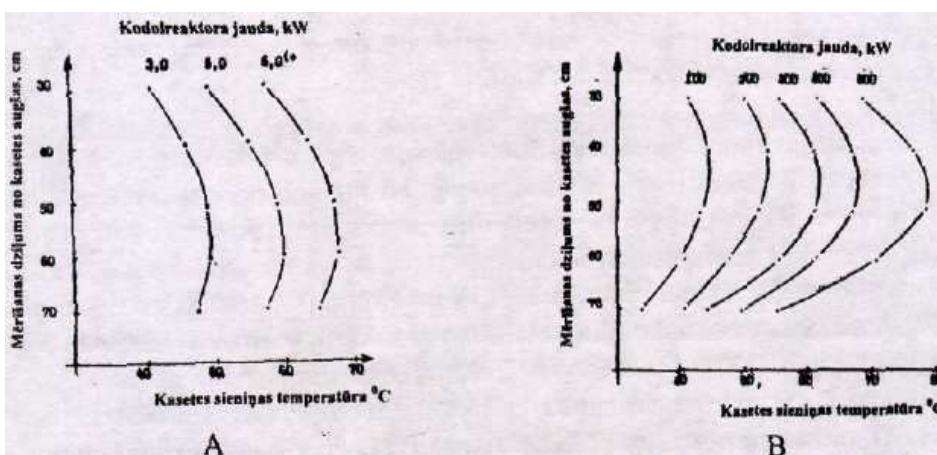
pilnīgi nodrošina baseina bakas ūdens konvekcijas cirkulācija, plūstot cauri aktīvajai zonai, temperatūra strauji samazinās zem 50°C.

Otra aktīvās zonas temperatūras aprobācija tika veikta bez aktīvās zonas piespiedu dzesēšanas. Kodolreaktora jauda tika palielināta ik pa 100kW, veicot kodoldegvielas kasetes sienīgas temperatūras izmaiņu reģistrēšanu. Konvekcijas cirkulācijas mērījumu rezultāti doti 5.4.att. -A, kodolreaktoram strādājot ar jaudu no 100-600KW. Mērot visvairāk noslogoto kodoldegvielas kasešu sasilšanu, iegūtie dati liecina, ka pie kodolreaktora jaudas 600kW kasetes sienīgas temperatūra nepārsniedz 80 °C robežu.



5.3.att. Kodoldegvielas termometriskā kasete

Kodolreaktoram strādājot ar jaudu 5MW, pirmā kontūra sūkņi nodrošina aktīvās zonas dzesēšanu, mērījumi doti 5.4.att.-B, kodoidegvielas kasešu sienīgas temperatūra nepārsniedz 90°C.



5.4.att. Kodoldegvielas kasetes sienīgas temperatūra, A-strādājot pirmā kontūra dzesēšanas sistēmai; B-nestrādā pirmā kontūra dzesēšanas sistēma, aktīvo zonu dzesē ar baseina bakas ūdeni konvekcijas cirkulācijā

**Vibrācijas pētījumi** aktīvajai zonai tika veikti pie pilnas dzesēšanas kontūru hidrauliskās slodzes. Mērījumu rezultāti nepārsniedza pieļaujamo lielumu.

### **Iekārtu kopdarbības aprobācija 25000 darba stundās [25].**

Iekārtu darbības kontrole tika veikta darba procesā, tās daļēji izjaucot reizi gadā. Pēc 25000 nostrādātām darba stundām tika veikta iekārtu pilna kontrole, lietojot krāsu defektoskopiju, slēgto defektu kontroli ar ultraskaņu, radioaktīvā ūdens noplūdes blīvuma kontroli, metāla paraugu apskati. Kodolreaktora bākas iekārtu zemūdens apskate tika veikta ar zemūdens periskopu (ar 200 reizes lielu palielinājumu), īpašu uzmanību pievēršot kodolreaktora aktīvajai zonai, bākas baseina apakšējai sekcijai, HEK galiem un pieskares kanālam, siltuma kolonas grafīta krāvuma apvalkam. Apskatē konstatēts, ka:

1. Aktīvās zonas korpusam (alumīnijs AD1), baseina bākas sienām (nerūsošais tērauds 12X18H10T), iekārtām metāla korozija un citi bojājumi nav konstatēti;
2. Aktīvās zonas neitronu atstarotāja berilija bloku virsmām vērojama "pitinga" veida korozija;
3. Horizontālo kanālu galu pārklājumos ar alumīnija oksīdu bojājumi nav konstatēti;
4. Aktīvās zonas kodoldegvielas atbalsta režģa apskatē korozija un mehāniskie bojājumi nav konstatēti ne režģa virspusē, ne apakšpusē;
5. Hidrauliskās aizmācības un atsietējrežģa, ežektora un cauruļvadu (alumīnijs AD1) virsmas vienmērīgi pārklātas ar alumīnija oksīda kārtiņu.

**Metināto šuvju krāsu defektoskopija** uzradīja, ka baseina bākas metināto šuvju kvalitāte nav mainījiesies.

**Baseina bākas sienu sākotnējā biezuma defektoskopija** tika veikta ar ultraskaņas iekārtu, izdarot 270 pārbaudes mērījumus jau iepriekš fiksētās vietās. Iegūtie mērījumu rezultāti ir ar atkāpi plus/mīnus 0,1 mm no materiāla sākotnējā nominālā izmēra. Novirze iekļaujas materiāla velmējuma pielaides un mērīšanas iekārtas mērīšanas kļūdas robežas.

Pētāmo paraugu apskatē novērtēts, ka konstrukciju korozija augstas radiācijas apstākļos notiek ar ātrumu 0,001 mm/gadā.

### **Secinājumi:**

1. Modernizētā kodolreaktora IRT-5000 iekārtu kopdarbības aprobācijas 25000 darba stundās netika reģistrētas aktīvās zonas vai tās komponentu, baseina bākas vai iekšpusbākas iekārtu, dzesēšanas kontūru un bīstamo iekārtu kodoldrošību un radiācijas drošību iespaidojošas situācijas.
2. Iekārtu kontrole un materiālu stāvokļa izvērtējums nerādīja nepieciešamību veikt radikālas izmaiņas, tāpēc tika noteikts otro iekārtu pārbaudi veikt pēc 5 gadu ekspluatācijas vai 35000 uz jaudas nostrādātām darba stundām.

**Iekārtu kopdarbības aprobācija 35000 darba stundās un materiāla 12X18H10T paraugu pētīšana [22;23;]** tika veikta pēc sekojošas programmas: Papildus 25000 darba stundu programmai tika veikts:

1. Kodolreaktora baseina bākas sienu biezuma kontrole ar ultraskaņas mērīšanas iekārtu un horizontālo eksperimentālo kanālu galu stāvokļa un metināto šuvju apskate ar optiskās ierīces palīdzību.
2. Aktīvās zonas atbalstrežģa biezuma izmēra 70<sub>0,4</sub> mm kontrole.
3. Visu iekārtu detalizēta apskate atvērtā stāvoklī, lietojot palielinājumu 8 reizes.

4. Bīstamo iekārtu spiedienpārbaude.
5. Baseina bākas materiālu laboratoriskā izpēte.

Iekārtu vizuālajā pārbaudē tika atzīmēts, ka:

1. Kodolreaktora baseina bākas sienu, horizontālo eksperimentālo kanālu galu, aktīvās zonas korpusa, kodoldegvielas atbalstrežģa pārbaude ar zemūdens optisko periskopu, lietojot 18 kārtīgu palielinājumu, ļāva secināt, ka materiālu defekti, korozijas bojājumi, plaisas nav saskatītas.

2. Aktīvās zonas atbalstrežģa biezuma izmēra  $70^{+4}$  mm kontrole veikta 6 dažādās vietās, iegūstot nomināla 70mm biezuma palielinājumu par 0,1 mm. Palielinājums saistīts ar alumīnija oksīda kārtas palielināšanos baseina ūdens apstākļos, jo atbalstrežģis, izgatavots no alumīnija, tā marka ADI. Atbalstrežģa apskatē no apakšpuses un augšpuses nav konstatēti vizuāli bojājumi vai formas izmaiņas, apskate tika veikta ar zemūdens optisko periskopu.

3. Veikta iekārtu detalizēta apskate atvērtā stāvoklī, lietojot 8 kārtīgu palielinājumu.

#### Baseina bakas paraugu materiālu 12X18H10T stiprības laboratoriskā izpēte [28]. Apstaroto paraugu raksturojums:

$$F=5 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2 \text{ pie } E > 2,6 \text{ MeV}$$

kur, **F-fluens**, pilns neitronu skaits, kas iedarbojas uz materiāla laukuma vienību pilnas ekspozīcijas laikā, dimensija-n/cm<sup>2</sup> raksturo materiāla trauslumu.

Laboratorijas pārbaudē iegūtie paraugu mehāniskie raksturlielumi, atbilstoši sākuma parametriem :

Materiāla stāvoklis	$\sigma_B$ ; MPa ;	$\sigma_{0,2}$ ; MPa ;	$\delta_p$ ; % ;	$K_{CV}$ ; J/cm <sup>2</sup> ;	$K_C$ MPa/m	$\delta_C$ ×10 <sup>-3</sup> m
Pirms apstarošanas	668	375	40,8	52,8	67,3	0,491
Pēc apstarošanas	747	590	25,2	39,3	80,2	0,236

Kur:

- $\sigma_B$  - īslaicīgās pretestības min. lielums, MPa ;
- $\sigma_{0,2}$  - minimālā tecēšanas robežas vērtība, MPa ;
- $\delta_p$  - relatīvais pagarinājums, % ;
- $K_{CV}$  - sitiena viskozitāte, J/cm<sup>2</sup> ;
- $K_C$  - intensitātes kritiskais lielums , kas atbilst max. slodzei  $P_0$ , PA $\sqrt{m}$  ;
- $\delta_C$  - maks. slodzes plaisas atvērums, mm .

No pārbaudes rezultātiem redzams, ka mehāniskās īpašības mainījušās uz cietības pusi ( $\sigma_B$  =no 668 MPa uz 747 MPa ,  $\delta_p$  =no 40,8% uz 25,2%), vērojamas ļoti vājas korozijas produktu (dzelzs oksīdu) pēdas atsevišķās vietās. Korozijas ātrums 0,001 mm/gadā.

**Secinājums:** iekārtu stāvoklis pēc 350000 darba stundām ir bez defektiem. Atļauta kodolreaktora ekspluatācija līdz nākošajai pārbaudei 2003. gadā.

## Darbu publiskā aprobēšana

Darba rezultāti tika apspriesti sekojošos semināros un konferencēs:

1. Darba apspriedē par reaktoru fiziku un tehniku, Apvienotais kodolpētniecības institūts, Prāga, 1963.g. [2;].
2. Vissavienības apspriedē par zinātniski pētniecisko darbu koordināciju, kurus veic zinātniski pētnieciskajos reaktoros, Rīga, 1966.g.[1;2;].
3. Konferencē par zinātniski pētniecisko-reaktoru fiziku, Varšava, 1968.g. [6;].
4. Pneimopasts kodolreaktoram IRT-1000. Rīgas politehniskais institūts, Rīga, 1978.g. [4;].
5. On the Corrosion in the Vessel of the Nuclear Research Reactor, Multilateral Symposium on Safety Research for WER Reactors. Cologne, September 28-30, 1993. [3;5;7;9;12;14;].
6. Kodolreaktors un fizikas eksperimentālās iekārtas, Latvijas Universitāte, Fizikas un Matemātikas fakultāte, Rīga, 1999. [29]
7. 7. Ecological problems at dismantling of nuclear facilities in Latvia, starptautiskā konference, EcoBalt2003, Rīga, 2003. gada 15.-16. maijā, [26; 1-42, 14-3].
8. 8. Salaspils kodolreaktora modernizācija 1973.-1975.g., Latvijas Universitāte, konference, Rīga, 24.01.2005. [31;]

### **Zinātniskā novitāte**

Kodolreaktora IRT modernizācijā pirmo reizi ieviesti vairāki jauninājumi:

1. Latvijā radīts pilnīgi jauns bioloģiskās aizsardzības variants (arcementu injicēti dzelzs stieņi).
2. Radīta jauna aktīvās zonas konstrukcija ar mainītu tās dzesēšanas sistēmu.
3. Izstrādāta jauna reaktora baseina radioaktīvā ūdens aigtursistēma, mazinot radioaktivitāti 200 reizes.
4. Izveidota tehnoloģija iekārtu defektoskopijai un bojāto iekārtu nomaiņai, pielietojot modelēšanu uz maketa.
5. Radīta avārijas dzesēšanas sistēma kodoldegvielas aizsardzībai pret tās izkušanu.
6. Radīta jauna, neatkarīga kodoldegvielas pārlādēšanas un evakuācijas pusautomātiska sistēma.
7. Apstarošanas procesiem radītas elektromagnētiskas un pneimatiskas pusautomātiskas transportēšanas ierīces un unikālas konstrukcijas kanāli.
8. Veiktie kodoldegvielas bojājumu pētījumi veicināja kodoldegvielas kvalitātes uzlabošanu.



## **Iegūtie rezultāti**

1. Kompleksi izpētīts Salaspils zinātniski pētnieciskais kodolreaktors IRT-1000, izstrādāts modernizācijas projekts ar tehnoloģiju siltumjaudas palielināšanai līdz 5 MW.

2. Radīta jauna reaktora aktīvā zona ar izmainītu dzesēšanas sistēmu un palielinātu neitronu plūsmu  $7 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>s.

3. Iekārtu kopdarbības aprobācija 25000 un 35000 darba stundās noteica modernizētā kodolreaktora IRT-5000 drošas kalpošanas ekspluatāciju turpmākos 20 gadus.

## **Praktiskā nozīme**

Modernizācijas darbos iegūtā pieredze tika izmantota citu kodolreaktoru būvē un modernizēšanā: Tbilisi 1974.g., Minskā 1977.g. un vēlāk Tomskā un Maskavas MIFI kodolreaktorā, kā arī Korejā 1974.g., Irākā 1978.g., Lībijā 1981.g. un Bulgārijā 1988.g. Latvijas speciālisti, izmantojot Salaspilī iegūto pieredzi, palīdzēja dažos kodolcentros uz vietas: Irākā, Lībijā. Salaspils kodolreaktora modernizācija ir Latvijas inženieru ieguldījums kodolenerģētikas attīstības jomā un kalpo par pamatu tipveida kodolreaktora IRT modernizācijas veikšanai un tā izmantošanas drošības nodrošināšanai.

Salaspils kodolreaktora modernizācijas variants ir ekonomiski izdevīgs, jo nav nepieciešamības palielināt esošo bioloģisko aizsardzību un ēku platību.

Darbs augstas radiācijas apstākļos organizējams nelielā, bet labi sagatavotā darba grupā, ievērojami pagarinot darba veikšanas laiku. Demontējot iekārtas ar lielu radioaktivitāti, jāveic to sasmalcināšana no attāluma.

## **Darbu un publikāciju saraksts**

Vietējie izdevumi un ziņojumi

**1. В.Я.Мозгирс**, Ю.Е.Тиликс, В.В. Гавар, Х.Я. Краст, К.Г. Волков, М.Э. Лайвиньш, СО. Калея, Ю.Г.Устинов, ВЛ.Лейере Термомеханическое и коррозионное поведение ТВЭЛ -ЭКЮ в условиях эксплуатации аппарата ИРТ-2000 Института Физики АН Латв.ССР, 1965г.

**2. Мозгирс В.Я.**, Балтмугурс К.К., Волков К.Г., Екабсон Е.Е. Организация облучения образцов в вертикальных экспериментальных каналах реактора ИРТ-2000.ИФ АН Латв.ССР, 1967г.

**3. Мозгирс В.Я.**, Балтмугурс К.К., Волков К.Г., Зандарт Я.Ф. Модернизация верхней площадки и организация системы обработки облученных образцов на атомном реакторе ИРТ-2000 в Саласпилс. ИФ АН Латв.ССР, 1966г.

**4. Гавар В.В., Мозгирс В.Я., Тиликс Ю.Е.** О коррозии оболочки реакторного бака аппарата ИРТ-2000 ИФ АН ЛССР. ИФ АН Латв.ССР, 1968г.

**5. Мозгирс В.Я.**, Полуавтоматическая пневматическая установка для транспортировки предметов в технологическую зону обработки - применительно к атомному реактору ИРТ в Саласпилс, ИФ АН Латв.ССР, 1968 г.

6. Гавар В.В., Тиликс Ю.Е., Лапенас А.А., Алкснис Я.К., Калниньш Дз.О., **Мозгирс В.Я.**, Эйдус Б.С. Исследование коррозии оболочки и разработка методов локального ремонта бака аппарата ИРТ-2000 Института Физики АН Латв.ССР. ИФ АН Латв.ССР, 1968г.

7. Балтмугурс К.К., Гавар В.В., КрастХ.Я., Кувалдин Б.В., Липин Ю.В., **Мозгирс В.Я.**, Тиликс Ю.Е. Эксплуатация и вспомогательные экспериментальные устройства атомного реактора 2000. Рига, ЛатИИТМ, 1968г.

8. Гавар В.В., Балтмугурс К.К., Калниньш Дз.О., Тиликс Ю.Е., **Мозгирс В.Я.**, Эйдус Б.С., Тетерис Я. Исследование коррозии и разработка технологии восстановления алюминиевого бака аппарата ИРТ-2000 Института Физики АН Латв.ССР. ИФ АН Латв.ССР, 1969г.

9. Бушманис А.К., Зандартс Я.Ф., Платацис Э.Я., **Мозгирс В.Я.**, Бураке Г.С., Алексеева И.Я. О разработке и внедрении полуавтоматической установки для перегрузки высокоактивных источников гамма-излучения из активной зоны реактора ИРТ-2000 АН Латв.ССР. ИФ АН Латв.ССР, 1970г.

10. Гавар В.В., **Мозгирс В.Я.**, Эглитис А.В., Калниньш Дз.О., Эйдус Б.С., Алкснис Я.К., Тиликс Ю.Е. О разработке и освоении методики замены поврежденных деталей и поверхности бака атомного реактора в радиационных условиях. ИФ АН Латв.ССР, 1970 г.

11. Гавар В.В., Алкснис Я.К., Крамер М.М. **Мозгирс В.Я.**, Платацис Э., Канаев А., Сагильдин Е., Козлов Е. О разработке технологии и проведении демонтажа радиационного контура РК-Л ИФ АН Латв.ССР, 1970г.

12. Мамаев Ю.И., Сухарев М.М., **Мозгирс В.Я.**, Калниньш Дз.О. О модернизации системы СУЗ и установке дополнительных вертикальных экспериментальных каналов атомного реактора. ИФ АН Латв.ССР, 1970г.

13. Гавар В.В., Тиликс Ю.Е., Лапенас А.А., Алкснис Я.К., **Мозгирс В.Я.**, Эйдус Б.С. Разработка метода ультразвуковой дефектоскопии и снятие дефектограммы оболочки бассейна аппарата ИРТ-2000 в условиях повышенной радиации. ИФ АН Латв.ССР, 1971г.

14. Дорофеев В.С., Мозгирс В.Я., Алкснис Я.К., Гавар В.В. О первом этапе реконструкции технологического оборудования атомного реактора ИРТ-2000 ИФ АН Латв.ССР. Часть Шписание. ИФ АН Латв.ССР, 1971г.

15. Гавар В.В., Тиликс Ю.Е., **Мозгирс В.Я.**, Алкснис Я.К., Калниньш Дз.О., Лапенас А.А. Исследование экспериментальных параметров атомного реактора ИРТ-2000. ИФ АН Латв. Латв.ССР ИФ АН. ССР, 1971г.

16. Михайлов Ю.А., Дорофеев В.С., Улманис У.А., Гавар В.В., **Мозгирс В.Я.**, Алкснис Я.К., Резанов Ю.М., Мамаев Ю.И., Технический проект экспериментальной реконструкции бака аппарата ИРТ-2000 АН ЛатвССР.

17. Резанов Ю.М., Алкснис Я.К., **Мозгирс В.Я.** Синтяев Г., Волков В., Евдокимов С. Разработка технологического процесса на реконструкцию аппарата ИРТ-2000. Этап 1 -Демонтаж внутрибачных устройств. ИФ АН Латв.ССР, 1974г.

18. Гавар В.В., Резанов Ю.М., **Мозгирс В.Я.**, Белманис А.А. Комплекс инженерно-технических решений при реконструкции технологических контуров атомного реактора ИРТ. ИФ АН Латв.ССР, 1975г.

19. Авотиньш Ю.Э., Бриедис В.М., **Мозгирс В.Я.**, Тиликс Ю.Е. Установка для измерения люминисцерции при растворении твердых веществ. ЛГУ УДК535.379. Известия АН Латв.ССР, 1979г. Номер 2.

20. **Мозгирс В.Я.**, Гавар В.В., Резанов Ю.М., Эглитис А.В., Бураке ГС, Реконструкция технологического оборудования 2-го контура охлаждения исследовательского атомного реактора ИРТ ИФ АН Латв.ССР в Саласпилс. ИФ АН Латв.ССР 1978г.

21. Админис Я.Я., Алкснис Я.К., Гавар В.В., Калниньш Дз.О., Лапенас А.А., Мамаев Ю.И., **Мозгирс В.Я.**, Эглитис А.В. Реконструкция исследовательского ядерного реактора ИРТ на мощность 5 МВт, ИФ АН Латв.ССР, 1979г.

22. **Мозгирс В.Я.** Реконструкция технологического и экспериментального оборудования атомного реактора ИРТ в период с1961 .по 1981 год. ИФ АН Латв.ССР, 1981г.

23. Эглитис А.В., **Мозгирс В.Я.**, Лапенас А.А. О размещении образцов-свидетелей в бак атомного реактора для облучения согласно темы: Изучение состояния материала исследовательских каналов аппарата ИРТ. ИФ АН Латв.ССР, 1984г.

24. Ансонс А.Дз., Лесиньш А.Я., Малнач Я.А., **Мозгирс В.Я.**, Эглитис А.В О разработке и внедрении системы методов для очистки теплоносителя 1-го контура от механических примесей. ИФ АН Латв.ССР 1987г.

25. Гавар В.В., Лапенас А.А.. **Мозгирс В.Я.**, Малнач Я.А., Эглитис А.В. Первое периодическое обследование и контроль за состоянием металла оборудования и трубопроводов атомного реактора ИРТ ИФ АН Латв.ССР. ИФ АН Латв.ССР, 1987г.

26. Z.V.Mozgirs, J.Tīliks Ecological problems at dismantling of nuclear facilities in Latvia, starptautiskā konference, EcoBalt2003, Rīga, 2003. gada 15.-16. maijā, Lpp. 1-42.14-3 [63].

27. **V.Mozgirs.** Augsti radioaktīvās kodoldegvielas glabātuve DK/KG 00.00.OOP, 19.02.2001

28. **Z.V.Mozgirs.** Iekārtu kopdarbības aprobācija 35000 darba stundās, apstarotā bākas materiāla 12XI8HIOT izpētīšana, 15.09.1992.

29. **Z. V.Mozgirs.** Kodolreaktors un fizikas eksperimentālās iekārtas, Rīga, LU Fizikas un matemātikas fakultāte. Maģistra darbs, 1996.

30. **Z.V.Mozgirs** and others Study on the Pool Type Research Reactors in Countries Assisted by Phare Programme, for the management of spend fuel, radioactive wastes and also provides plāns for decommissioning Salaspils Research Reactor, 1999.July, Project PH4.11/95.

31. **Z.V.Mozgirs**, V.Gavars, U.Ulmanis. Salaspils zinātniskā kodolreaktora modernizācija 1973.-1975.g. Latvijas Universitāte. Zinātnes vēstures sekcija 63.konference, 24.0)2005,