

EIROPAS REĢIONĀLĀS ATTĪSTĪBAS FONDS

**Uzlabota tehnoloģija protonu - neitronu
konvertoru šķidra metāla sistēmu izveidei**

**Projekts Nr. 2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/166
(Progresā ziņojums – 5)**

01.03.2012. – 31.07.2012.

Projektā
 piedalījās:

- | | |
|---------------|-------------|
| 1. Platacis | Ernests |
| 2. Bucenieks | Imants |
| 3. Kļukins | Aleksandrs |
| 4. Buligins | Leonīds |
| 5. Romančuks | Alberts |
| 6. Freibergs | Jānis |
| 7. Lipsbergs | Guntis |
| 8. Goldšteins | Linards |
| 9. Kravalis | Kalvis |
| 10. Ziks | Anatolijs |
| 11. Broka | Maija |
| 12. Lūķis | Pēteris |
| 13. Pagasts | Inguss |
| 14. Mauriņš | Dainis |
| 15. Krisjko | Staņislavs |
| 16. Fjodorovs | Viktors |
| 17. Raimonds | Nikoluškins |

* Kontaktpersona : tel. 67945785; mob. 26513424.
E –pasts: erik@sal.lv

Uzlabota tehnoloģija protonu – neitronu konvertoru šķidra metāla sistēmu izveidei

Mērķis - Projekta specifiskais mērķis – pilnveidot tehnoloģiju to šķidrā metāla sistēmu („mērķu”) izveidei, kurās elementārdaļiņu atskaldīšanas process realizējas, padarot šīs mērķa stacijas kompaktākas, līdz ar to enerģētiski un ekonomiski efektīvākas un ekoloģiski drošākas.

Aktivitāte Nr. 1 - Neitronu atskaldīšanas prasībām atbilstošo darba materiālu salīdzinājums un atlase.*

***Aktivitātē Nr. 1** plānotie darbi izpildīti un saskaņā ar vienošanās **Nr.2010/0260/2DP/2.1.1.1.0/10AOIA/VIAA/166** punktu 2.12. „Sasniedzamie rezultāti aktivitāšu ietvaros”: iesniegts **Akts – Atskaite**.

Aktivitāte Nr.2.Prototipa izvēlēto mezglu optimizēšana ar skaitlisku datorsimulāciju palīdzību.

Aktivitātē Nr.2. plānotie darbi izpildīti. Rezultāti izklāstīti „Aktā – Atskaitē”, sk Pielikumu 1.

Aktivitāte Nr.3. Metodikas un aprīkojuma izstrāde ekoloģisko prasību nodrošināšanai darbam ar dzīvsudrabu.*

Darbi, kas attiecas uz Aktivitāti Nr.3 uzsākti š.g. 1. jūnijā. Dzīvsudrabs ir ļoti specifisks materiāls. Tas jau istabas temperatūrā ir šķidr, bet līdz ar to arī vārīšanās temperatūra ir diezgan zema (327°C) un augsts tvaiku spiediens, toksisks. Toties tam ir labas hidrodinamiskās un kodolīpašības. Ņemot vērā gan pozitīvos, gan negatīvos parametrus dzīvsudrabs ir viens no galvenajiem neitronu ģenerācijas materiāliem atskaldīto neitronu iekārtās. Piemēram, tas tiek izmantots ASV atskaldīto neitronu projektā „SNS OAK Ridge”, kā arī „JAER” projektā Japānā. Arī Lundas (Zviedrija) projektā „ESS-S” sākuma periodā dzīvsudrabs tika uzskatīts par vienu no galvenajiem kandidātiem.

Ņemot vērā augstāk minēto, pirmajā etapā galvenā uzmanība ir pievērsta sekojošiem uzdevumiem:

- Iepazīties ar saistošajiem likumiem un normatīvajiem aktiem attiecībā uz dzīvsudraba piesārņojumu apkārtējā vidē, ņemot vērā atskaldīto neitronu projektu specifiku.
 - Meklēt un apkopot informāciju par realizētajiem darba drošības pasākumiem attiecībā uz dzīvsudrabu jau esošajos atskaldīto neitronu projektos (Spallation Neutron Source, JAER) citur pasaulē.
 - Meklēt un apkopot informāciju par dzīvsudraba monitoringu apkārtējā vidē.
- Pētījumu rezultāti tiks apkopoti nākošajā Projekta ziņojumā.

Aktivitāte Nr.4. Daļiņu konversijas iekārtām atbilstoša specifiska MHD aprīkojuma izstrāde.

Daļiņu konversijas (protonu - neitronu atskaldīšanas) iekārta ir super sarežģīta. Tādas iekārtas kopējās izmaksas sasniedz vairākus desmitus miljonu EUR. Protams, šī projekta ietvaros nav paredzēts izstrādāt tās tehnisko dokumentāciju, bet tikai izvērtēt iespēju pielietot MHD – tehnoloģijas, atsevišķas ietaises, mezglus turpmākā projekta izstrādē.

Dotajā Aktivitātes Nr.4. atskaites periodā izstrādāta konversijas iekārtas principiālā shēma fig.4.1. un atsevišķi mezgli (elektromagnētiskais sūknis, caurteses mērītājs, Venturi caurule u.c.) hidrodinamisko pētījumu veikšanai pie šķidrā metāla caurplūdes un temperatūrām maksimāli tuvām reāliem iekārtas ekspluatācijas apstākļiem ($Q \sim 15L/s$; T – līdz pat $350 - 400^{\circ}C$).

Galvenie daļiņu konversijas iekārtas mezgli ir ;

- protonu – neitronu mērķis;
- šķidrā metāla (PbBi) cirkulācijas kontūrs;
- elektromagnētiskais sūknis;
- siltummainis;
- caurteses mērītājs

Palīgierīces (šķidrā metāla tvertne, ventīļi, līmeņraži, spiediena devēji, vakuuma – gāzes sistēma, izplešanās tvertne u.c.) netiek apskatītas.

Daži pamatmezgli (siltummainis, pievadmehānisms u.c.) tiks izanalizēti un atstrādāti nākošajā atskaites periodā.

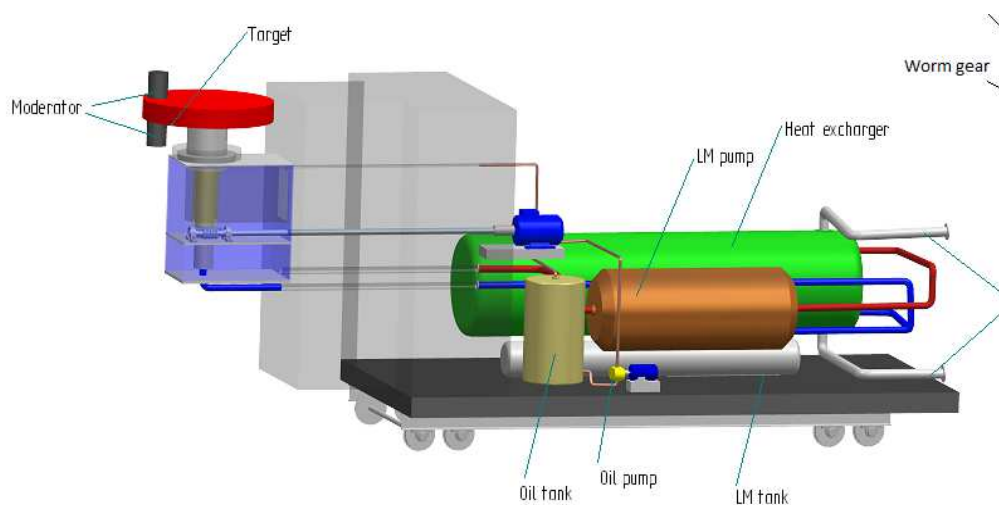


Fig.4.1.

Šķidrā metāla daļiņu konversijas iekārtas principiālā shēma.

Protonu – neitronu mērķis

Viens no visatbildīgākajiem un visvairāk noslogotajiem mezgliem ir protonu – neitronu mērķis. Tieši tanī lielas jaudas protonu kūļa iedarbības rezultātā uz liela „z” elementu kodoliem tiek atskaldīti neitroni. Izšķir cietu (solid target) fig.4.2. un šķidru metālu mērķus.

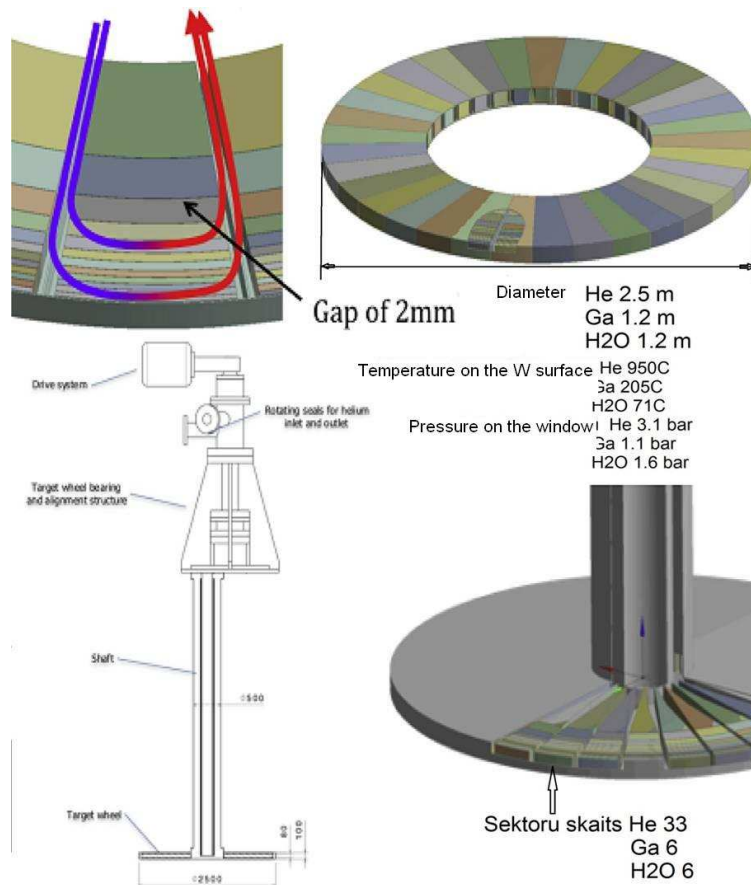


Fig.4.2.

Rotējošs ar hēliju dzesējams ciets volframa mērķis (ESS-S projekts)
(Volframa diska diametrs 2,5m, masa aptuveni 8000kg).

Šķidro metālu mērķu priekšrocība ir tā, ka tajos šķidrās metāls vienlaicīgi strādā ne tikai kā neitronu ģenerācijas materiāls, bet arī kā siltumnesējs. Visvairāk noslogota zona mērķī ir tā uz kuru krīt protonu kūlis. Tās laukums ir aptuveni (220-250 x 60)mm. Šī zona tiek pakļauta mehāniskai un termiskai slodzēm, pie tam augstas radiācijas apstākļos.

Tika izstrādāti un izanalizēti vairāki šķidrās metāla mērķu modeļi – gan stacionārie, fig.4.3, gan rotējošie, fig.4.4. Stacionārā mērķa konstrukcija ir vienkāršāka, toties darba resurss ir jūtami īsāks, tikai daži mēneši, bet mērķa nomaiņas operācija ir sarežģītā, darbietilpīga un dārgs process. Šinī sakarībā perspektīvs varētu būt rotējošs šķidrās metāla mērķis. Tiek piedāvāti divi principiāli atšķirīgi varianti – rotējošs tikai šķidrās metāla mērķis, kura diametrs nepārsniedz 1.2 m, bet masa 2000kg, fig.4a. un kombinēts volfrāma –gallija rotējošs mērķis, fig.4b, kurā gallijs vienlaicīgi ir neitronu ģenerējošs materiāls un siltumnesējs.

Rotējošā mērķa ideja ir jauna un prasa ne tikai teorētisku analīzi, bet arī eksperimentālu pārbaudi. Tās realizācijai tiek projektēts svina – bismuta kontūrs (Aktivitāte Nr.5).

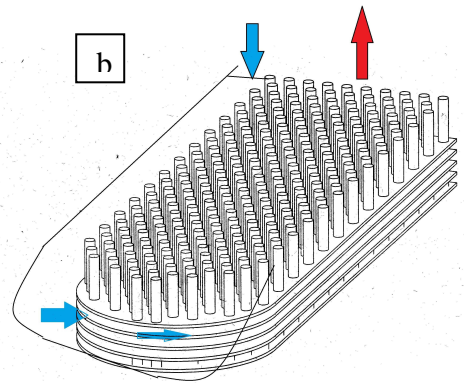
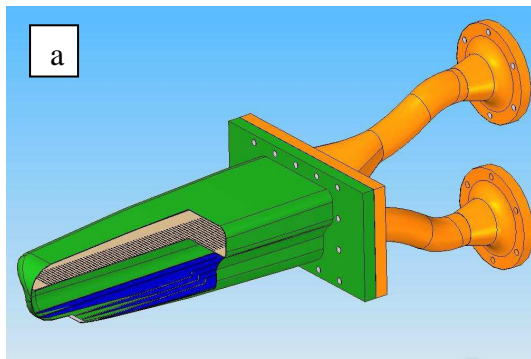


Fig. 4.3.

Stacionārs mērķis.

- a – „klasiskā” mērķa shēma (šķidrā metāla plūsmas vienmērīgam sadalījumam mērķa iekšpusē instalēts režģis ar mainīgu soli un caurumu diametru);
- b – ar volfrāma piniem instalēta un šķidro metālu dzesēta mērķa shēma.

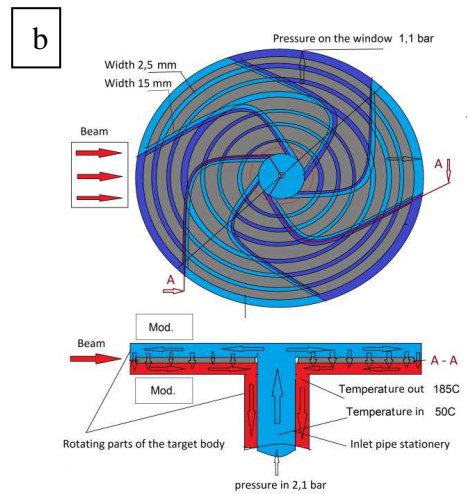
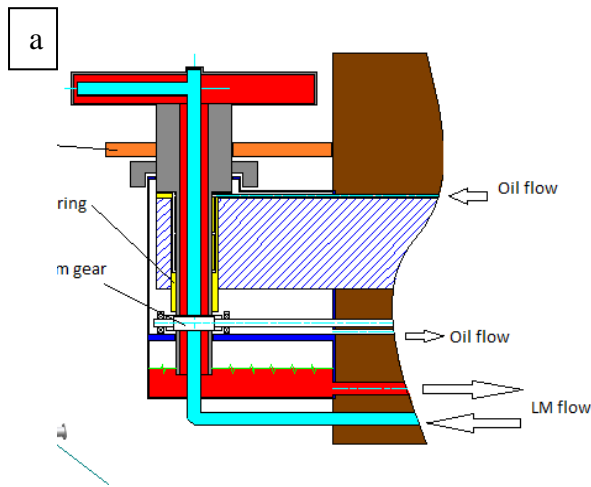


Fig.4.4 Rotējoša mērķa modeļi

a – rotējoša šķidrā metāla shēma (šķidrā metāls (PbBi) ar sūkņa palīdzību pa dubultcaurules iekšējo kanālu tiek padots rotējošā cilindrā, kur tas tiek pakļauts protonu kūļa iedarbībai un tālāk pa dubultcaurules ārējo kanālu un šķidrā metāla cirkulācijas kontūru - uz siltummaini un atpakaļ uz sūkni);

b - kombinēta volfrāma – gallija rotējoša mērķa shēma (rotējošā un sektoros sadalītā cilindrā ar definētu soli instalēti volfrāma gredzeni, kurus pa dubultcaurules iekšējo kanālu apskalo gallijs. Gallijs strādā ne tikai kā siltumnesējs, bet arī kā neitronus ģenerējošs materiāls. Tas palielina mērķa lietderības koeficientu).

Cilindriskais Pastāvīgo Magnētu Sūknis Pb-Bi eksperimentālam kontūram

Priekš svina-bismuta (Pb-Bi) eksperimentālā kontūra sūkņa bija izvēlēta elektromagnētiskā pastāvīgo magnētu indukcijas sūkņa konstrukcija, kurai ir vairākas priekšrocības salīdzinājumā ar tradicionāliem 3-fāžu induktoru sūkņiem. Pirmkārt, galvenā elektromagnētiskā pastāvīgo magnētu indukcijas sūkņa priekšrocība ir tā, ka tajā vispār nav tinumu. No šīs galvenās priekšrocības izriet citas būtiskas priekšrocības: nepastāv elektriskās izolācijas problēmas pie augstām darba temperatūrām; sūknim ir vienkāršāka konstrukcija, mazāki gabarīti un svars; lielāks lietderības koeficients (jo nav jātērē enerģija tinumu barošanai un tajā pašā laikā, izmantojot pastāvīgos magnētus var ģenerēt daudz stiprāku magnētisko lauku un ģenerēt spēcīgākus elektromagnētiskos spēkus, kuri ir proporcionāli magnētiskā lauka intensitātei otrajā pakapē). Papildus, tradicionālo induktoru sūkņu tinumu barošanai ir nepieciešams arī relatīvi dārga nestandarta iekārta – trīs fāžu transformators ar regulējamu spriegumu sūkņa ražotspējas regulēšanai. Savukārt, elektromagnētiskā pastāvīgo magnētu indukcijas sūkņa piedziņai tiek izmantots standarta rūpnieciskais elektriskais dzinējs ar barošanu caur standarta frekvences pārveidotāju dzinēja rotācijas ātruma, un līdz ar to, sūkņa ražotspējas regulēšanai.

Lai nodrošinātu šķidrā metāla (svina-bismuta eutektiskā sakausējuma Pb-Bi) sūkļi slēgtā kontūrā ar caurplūdi līdz 10.0 litriem sekundē Fizikas institūtā tika aprēķināts, konstruēts un izgatavots jaudīgs elektromagnētiskais indukcijas cilindriskais pastāvīgo magnētu sūknis, fig.4.5. un kurš tiek uzstādīts eksperimentālajā kontūrā, fig.4.6.

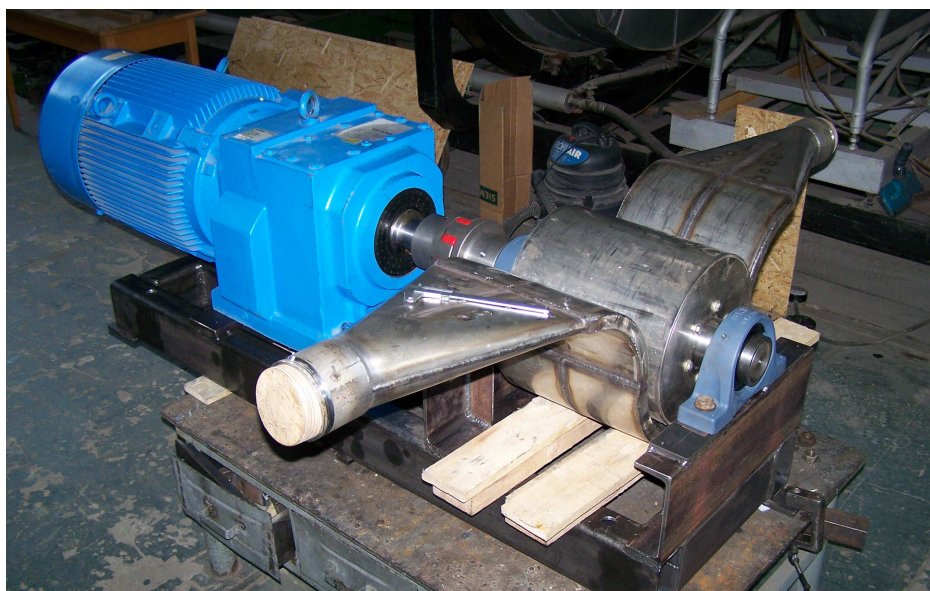


Fig.4.5.

Elektromagnētiskais indukcijas cilindriskais pastāvīgo magnētu sūknis.

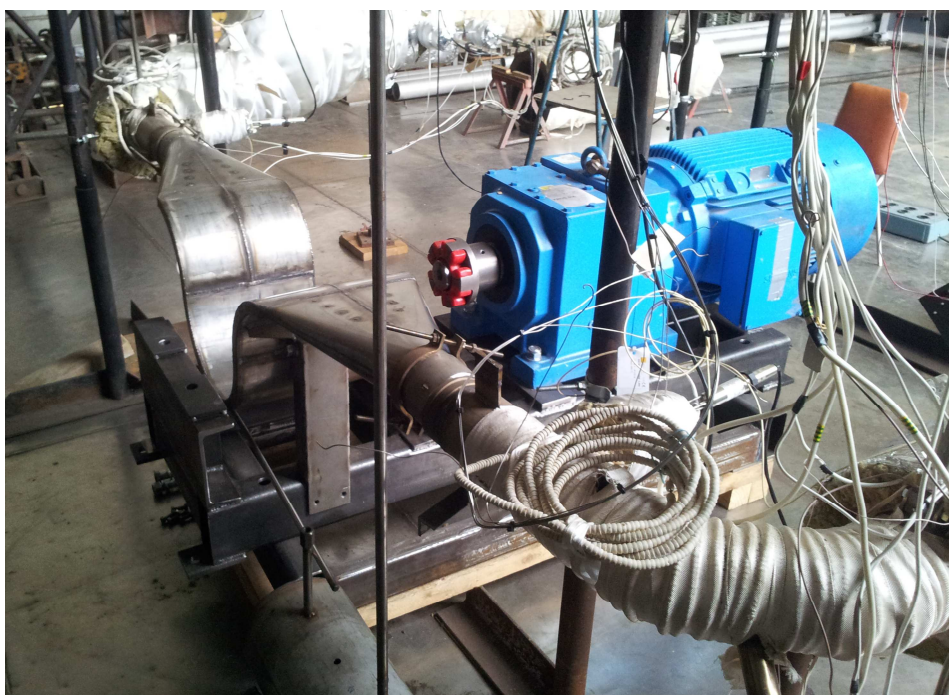


Fig.4.6.

Cilindriskā pastāvīgo magnētu sūkņa instalācija šķidrā metāla kontūrā.

Sūkņa attīstamā spiediena-caurplūdes un caurplūdes-patērējamās elektriskās jaudas raksturlīknes ir parādītas, attiecīgi, fig.4.7. un fig.4.8.

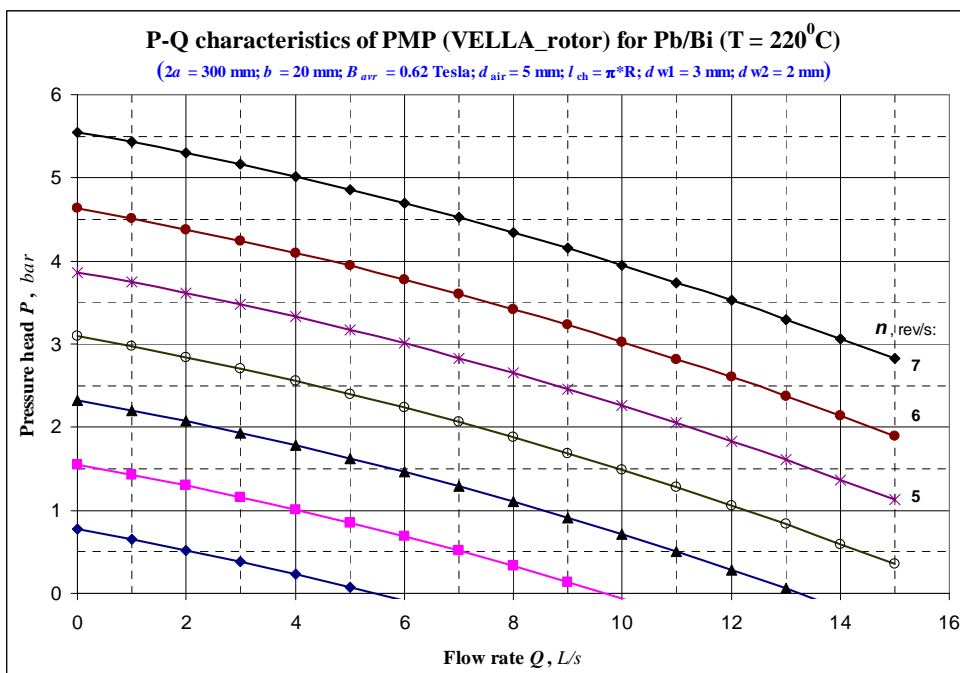


Fig.4.7

Sūkņa attīstamā spiediena-caurplūdes raksturlīknes.

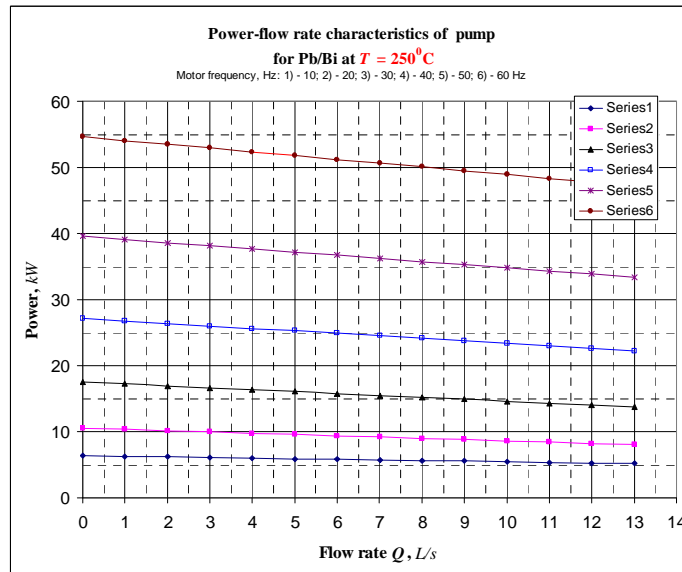


Fig.4.8.

Sūkņa caurplūdes-patērējamās elektriskās jaudas raksturlīknes

No līknēm fig. 4.7. un fig.4.8. var redzēt, ka sūknis attīsta spiedienu $P = 4.0$ bāri un nodrošina caurplūdi $Q = 10.0$ litrus sekundē pie motora (SIEMENS motor ar reduktoru) barošanas frekvences caur frekvences pārveidotāju tuvu 60 Hz un pie šīs frekvences sūkņa magnētiskā rotora rotācijas ātrums ir 359 apgriezieni minūtē, jeb 7.18 apgriezieni sekundē. Un pie šiem parametriem sūkņa patērējamā elektriskā enerģija ir apmēram 50.0 kW. Pie lielākām sūkņa radītām caurplūdēm (bet līdz ar to pie mazākiem sūkņa attīstamiem spiedieniem) sūkņa patērējama enerģija ir jūtami mazāka, jo sūkņa patērējamā enerģija pirmā tuvinājumā ir proporcionāla sūkņa attīstamam spiedienam otrajā pakāpē. Piemēram, ja sūknis nodrošina caurplūdi $Q = 13.0$ litrus sekundē pie frekvences 50.0 Hz (attīstot spiedienu $P = 2.5$ bāri), tad motora patērējamā elektriskā enerģija ir apmēram tikai 35.0 kW 50.0 kW vietā.

Caurteces mērītāju izstrāde

Sakarā arvien plašāku augstas temperatūras šķidro metālu pielietošanu fizikāli-tehniskajos eksperimentālajos pētījumos ar mērķi tos izmantot kodolenerģētikā joprojām ir aktuāla. Un līdz ar to ir arī aktuāla drošu un pietiekami precīzu mērīšanas sistēmu izstrāde šķidro metālu plūsmas ātruma, jeb caurteces, operatīvai mērīšanai cauruļvados, t.i. kontūros.

Ir zināmas caurteces indukcijas tipa mērītāju konstrukcijas šķidriem metāliem, kuru induktori, t.i. tinumi ir uzbūvēti uz cauruļvada. Šādu caurteces mērītāju pielietošana ir apgrūtināta, jo tie ir jāuzbūvē uz cauruļvada pirms šķidrā metāla kontūra sametināšanas.

Uzdevums bija izstrādāt uz cauruļvada uzliekamo caurteces mērītāju. Uzdevuma veikšanai vispirms tika konstruēts speciāls makets ar rotējošu alumīnija ripu, pie kuras ar noteiktu distanci ir pielikts caurteces mērītāja induktors, fig.4.9. Makets bija nepieciešams caurteces mērītāja parametru optimizēšanai.

Uzdevuma otrajā sastāvdaļā ietilpa izveidot maksimāli datorizēta induktora barošanas signāla ģenerēšanu, tā amplitūdas un frekvences stabilizēšanu, kā arī datorizētu caurteces ātruma mērīšanas signāla apstrādi. Darba procesā ir izstrādāta atbilstoša principiālā shēma,

kura sastāv no datora, induktora, jaudas pastiprinātāja, caurteces ātruma signāla priekšpastiprinātāja, kā arī termopāra ar tā e.d.s. priekšpastiprinātāju. Temperatūras e.d.s. ir nepieciešams induktora nulles dreifa kompensācijai, ko rada siltuma izsuktās mehāniskās mikrodeformācijas, fig.4.10.

Datora darbība šajā projektā ir bāzēta uz speciāli caurteces mērītājam pieskaņotas LabView programmatūras.

Uzliekamais caurteces mērītāja induktors ir dots fig.4.11.

Izstrādātā caurteces mērītāja tarēšanas līkne, kas uzņemta uz Pb/Bi kontūra, ir dota fig.4.12. Tarēšanas atbalsta signāls caurteces ātrumam tika iegūts no Venturi tipa mērītāja, kas ir iemontēts šajā pašā Pb/Bi kontūrā.

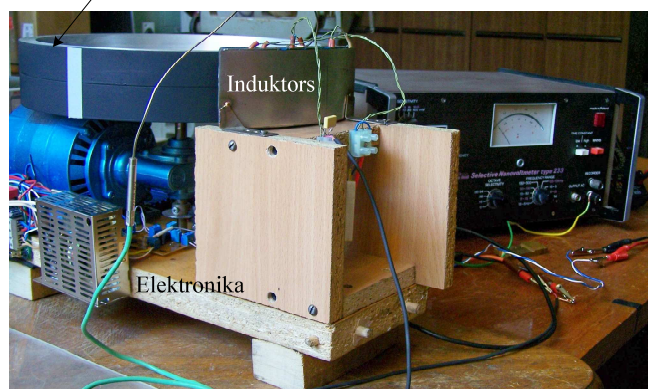
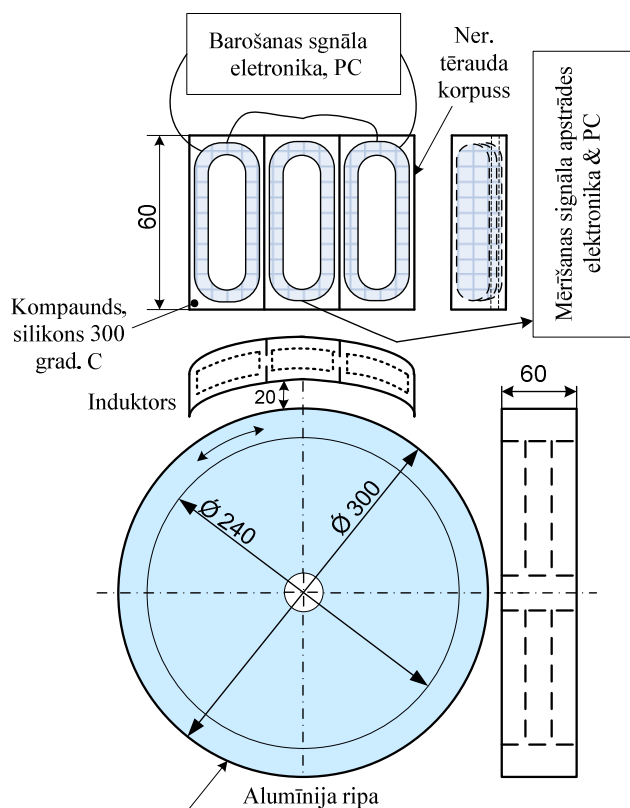


Fig.1

Uzliekamā caurteces mērītāja maketa shēma un maketa fotografija

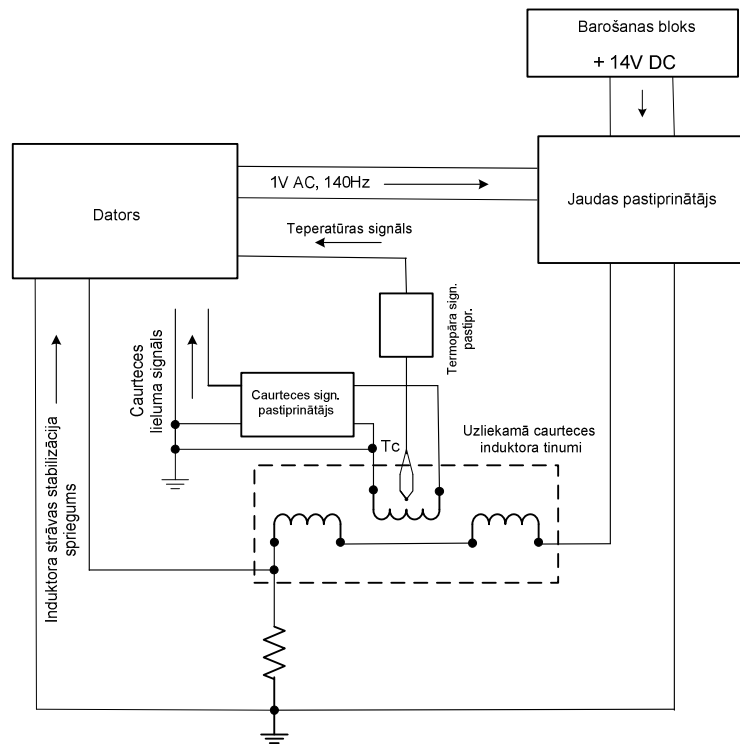


Fig.4.10.
Caurteces mēritāja shēma

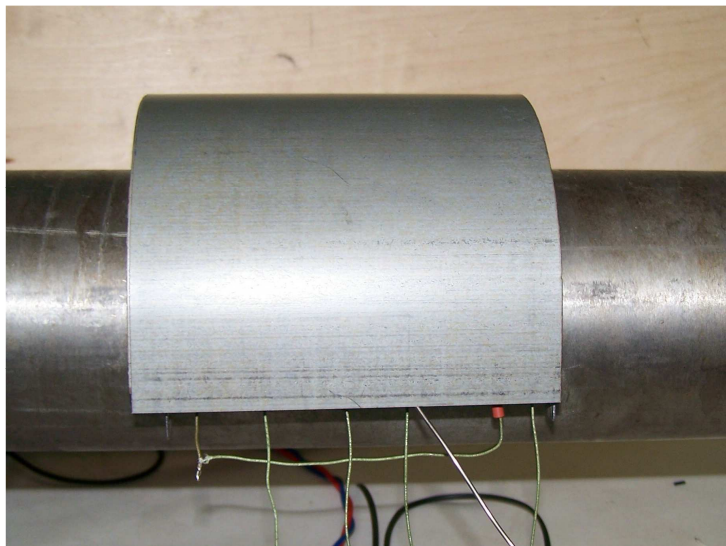


Fig.4.11.
Uzliekamā caurteces mēritāja induktors

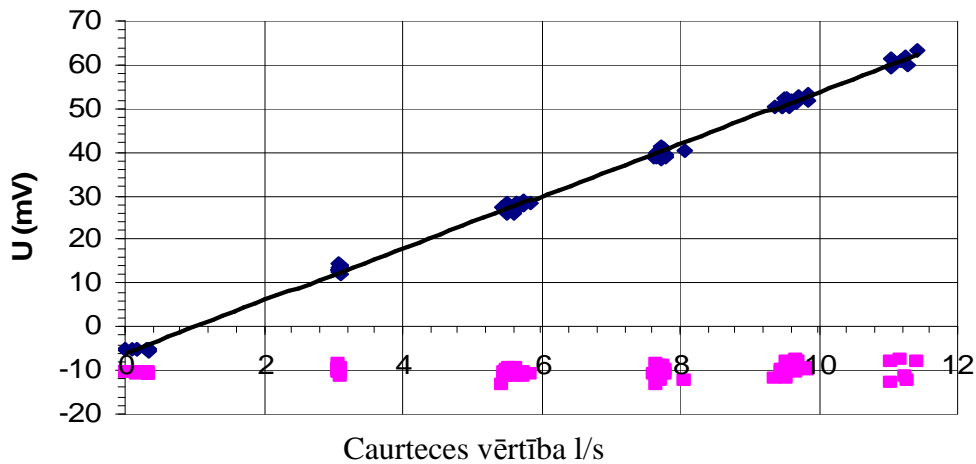


Fig.4.12.
Caurteces mēritāja raksturlikne

Aktivitāte Nr.5. Kompakta mērķa stacijas izveidei ieteikto jauno konstruktīvo risinājumu pārbaude/demonstrācija speciālā stendā.

Projekta Aktivitātē Nr.4. izklāstīti vairāki šķidro metālu mērķu konstruktīvie risinājumi. Lai pierādītu viena vai otra risinājuma dzīvotspēju un atbilstību reālas iekārtas tehniskiem parametriem un drošības prasībām ir nepieciešams veikt veselu rindu termo – un hidrodinamisko eksperimentu. To nodrošināšanai izstrādāts šķidro metālu kontūra projekts. Dotajā atskaites periodā tas atrodas realizācijas procesā, fig.5.1. Kā siltumnesēju kontūrā paredzēts izmantot PbBi sakausējumu. Sakausējuma caurteci (aptuveni 12L/s) nodrošinās speciāli šīm vajadzībām izstrādāts jaudīgs elektromagnētiskais sūknis uz pastāvīgiem magnētiem (sk. Aktivitāti Nr. 4). (Sūknis montāžas procesā parādīts fig. 5.2.). Darba temperatūra kontūrā līdz pat 400°C. Pirmos eksperimentus ir paredzēts oktobrī – novembrī.

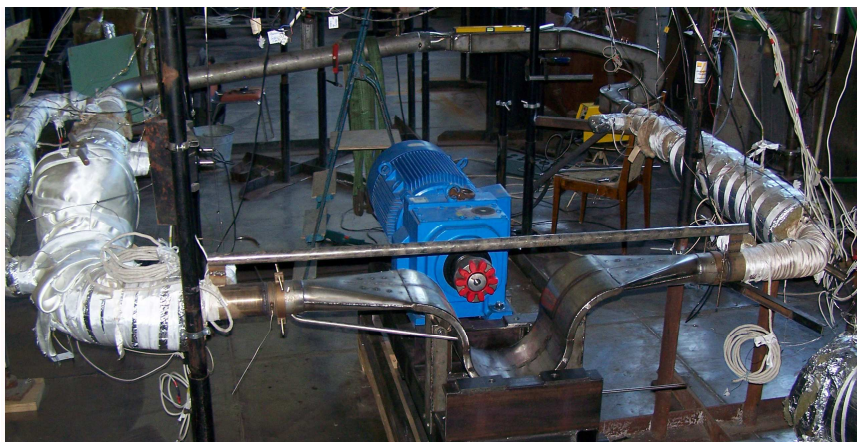


Fig.5.1.
Svina – bismuta kontūrs (montāžas procesā)

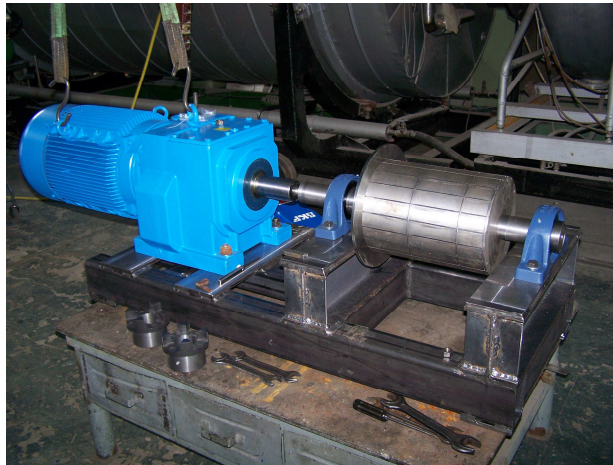


Fig.5.2.
Elektromagnētiskā sūkņa pastāvīgo magnētu induktors

Secinājumi

1. **Aktivitātē Nr. 1** plānotie darbi izpildīti un saskaņā ar vienošanās **Nr.2010/0260/2DP/2.1.1.1.0/10AOIA/VIAA/166** punktu 2.12. „Sasniedzamie rezultāti aktivitāšu ietvaros”: jau iepriekšējā Projekta ziņojumā iesniegts **Akts – Atskaite**.
2. **Aktivitātē Nr.2.”Prototipa izvēlēto mezglu optimizēšana ar skaitlisku datorsimulāciju palīdzību”**. plānotie darbi izpildīti. Rezultāti izklāstīti „Aktā– Atskaitē”, sk. Pielikumu 1.
3. **Aktivitātes Nr.3. „Metodikas un aprīkojuma izstrāde ekoloģisko prasību nodrošināšanai darbam ar dzīvsudrabu”** darbi uzsākti š.g. 1. jūnijā. Pirmais atskaites periods tiks veltīts galvenokārt uzdevuma apzināšanai un literatūras analīzei.
4. **Aktivitāte Nr.4. „Daļiņu konversijas iekārtām atbilstoša specifiska MHD aprīkojuma izstrāde”**. Tā ir viena no darbietilpīgākajām aktivitātēm. Tajā paredzēts ne tikai teorētiski izanalizēt piedāvātos atsevišķus neitronu konversijas iekārtas modeļus, bet arī zprojektēt, izgatavot un veikt eksperimentus ar mērķi noteikt to galvenos parametrus un īpašības. Uz doto momentu izstrādāti un izgatavoti jaudīgs elektromagnētiskais sūknis, uzliekamais indukcijas un Venturi tipa šķidra metāla caurteces mērītāji, kā arī izanalizēti vairāki protonu - neitronu mērķu modeļi un noteikti to galvenie parametri.
5. **Aktivitāte Nr.5. „Kompakta mērķa stacijas izveidei ieteikto jauno konstruktīvo risinājumu pārbaude/demonstrācija speciālā stendā”**. Arī

Aktivitātes Nr.5 darbu apjoms ir milzīgs. Tie uzsākti iepriekšējā ceturksnī. Atskaites periodā izstrādāts PbBi kontūra projekts, izstrādāti tā atsevišķi mezgli (sk. Aktivitāti Nr.4) un uzsākta kontūra montāža.