## Latvijas Universitātes Fizikas institūta projekta „Elektromagnētisko indukcijas sūkņu aprēķināšanas un optimizēšanas metodikas izstrādāšana industriāliem pielietojumiem”

## (Vienošanās Nr. 2013/0018/1DP/1.1.1.2.0/13/APIA/VIAA/061)

## Atskaite par veikto pētniecisko darbu 01.12.2013.-28.02.2014.

**1.** Veikts pastāvīgo magnētu sūkņa aprēķins 20 tonnu alumīnija krāsnij. Iegūti sūkņa magnētiskās sistēmas pamatparametri. Novērtēti pastāvīgo magnētu maisītāja parametri indukcijas krāsnij bronzas maisīšanai. Izstrādāta koncepcija rotējoša magnētiska lauka sūknim. Veikts rotējoša magnētiska lauka sūkņa parametru aprēķins izmantojot analītiskus modeļus. Izdarīts Bi-Sn sūkņa ar caurteci 8 l/s un spiedienu 1,6 bāri izvērtējums. Iegūti pamatdati konstruēšanas uzsākšanai. Izdarīts centrbēdzes sūkņa nepieciešamo parametru izvērtējums alumīnija degazācijai. *(2.1. aktivitāte)*

**2.** Izveidota impulsa magnētiskās iedarbības realizācijas koncepcija un noskaidroti iedarbes iespējamības kritēriji *(2.1. aktivitāte)*

**3.**Sagatavota prezentācija LU promocijas padomei. Aizstāvēts promocijas darbs.Komandējumā uz SWEREA-MEFOS, Lulea, Zviedrijā. apspriesti elektromagnētiska sūkņa parametri liela mēroga eksperimentālai iekārtai, kas modelē tērauda nepārtrauktās liešanas procesu (*2.1. aktivitāte*)

**4.**Izvērtētas analītiska modeļa pielietojuma iespējas pastāvīgo magnētu sistēmas magnētiskā lauka aprēķinam bezgalīgi gara pola gadījumā. Aprēķinats magnētiskais lauks atkarība magnēta pola biezuma, platuma. Izvēlēta vidējota vērtība pa kanāla biezumu analītiska aprēķinu modeļa vajadzībām.Izdarīts izteiktu polu mašīnas gaisa spraugas aizvietošanas ar neizteiktu polu mašīnas gaisa spraugu metožu apskats. Veikts magnētiskā Reinodsa skaitļa atkarības no magnētiskā rotora un apgriezienu skaita aprēķins Uzsākts kanāla galīga platuma ietekmes novērtēšanas metožu apskats *(2.1. aktivitāte)*

**5.**Veikta diskveida un cilindriskā sūkņa izejas parametru analīze – spiediena, ražības un lietderības koeficienta salīdzinājums. Noskaidrots, ka cilindriskie sūkņi veiksmīgāk darbojas lielu caurplūdu gadījumā. Uzsākta diskveida sūkņa konstruktīvo parametru analīze – rotora magnētiskās sistēmas izstrāde un uzsākta literatūras izpēte par pastāvīgo magnētu sistēmām. *(2.3. aktivitāte)*

**6.**Veikta pētījumu virzienu noteikšana 2.1. aktivitātes ietvaros. Noteikti pētāmie analītisko modeļi, pētījumu starpposmos veiktas pētījumu virzienu korekcijas. Analizētas pētījuma norises gaitā sastaptās grūtības, sniegti iespējamie problēmu risinājuma varianti. Aplūkoti elektromotoru ar pastāvīgiem magnētiem analītisku aprēķina modeļi un no to aprēķina metodikas izvelēti veiksmīgākie paņēmieni, kurus varētu pielietot pastāvīgo magnētu sūkņu aprēķinam. Veikts izteiktu un neizteiktu polu pastāvīgo magnetu mašīnu aprēķina analītisko metožu salīdzinājums, kā arī aizvietošanas metožu apskats un izvēle. Literatūras avotos veikti eksperimentu rezultātu meklējumi analītisko aprēķinu rezultātu verificēšanai. Izmantojot šos rezultātus izdarīta analītisko aprēķina rezultātu verificēšana pastāvīgo magnētu cilindriska un diskveidarotoru ģenerētā magnētiskā lauka indukcijas sadalījuma mērījumu salīdzinājums ar analītisko modeļu aprēķinu rezultātiem Veikta pastāvīgo magnētu maisītāja pamatparametru izvēle un iepriekšējs aprēķins. Apkopoti materiāli etapa atskaitei. *(2.1. aktivitāte)*

**7.**Veikta pētniecības virzienu noteikšana skaitlisko modeļu izveidē. Izdarīta skaitlisko modeļu izveides laikā identificēto problēmu analītisku modeļu izveidē analīze. Veikts griezes momenta atkarības no magnetvada loka garuma aprēķinu datu izvērtējums.*(2.2. aktivitāte)*

**8.**Veikts ātruma sadalījuma mērīšanas rezultātu izvērtējums , ka arī mērīšanas atvērtā rezervuārā rezultātu ticamības noteikšana. Noteikti pētījumu turpināšanas lietderīgākie virzieni. *(2.3. aktivitāte)*

**9.**Tika apkopotas EM sūkņu uz patstāvīgiem magnētiem eksistējošās aprēķinu metodikas. Tika konstatēts, ka pārsvarā lietojamās analītiskās metodes ar empīriskiem korekcijas koeficientiem apmierinoši var būt pielietotas cilindrisko sūkņu aprēķināšanai, bet nav pielietojamas diskveida sūkņiem un sūkņiem ar rotējošiem cilindriskiem magnētiem. Tika izpētīta skaitliskā 2D pieeja cilindrisko sūkņu aprēķināšanai, bet secināts, ka tā nav piemērojama diskveida sūkņiem, kur ir nepieciešams realizēt 3D pieeju. *(2.1. aktivitāte)*

**10.**Tika izpētīta brīva koda programmatūras OpenFOAM iespējas modelēt ar EM sūkņu aprēķināšanu saistītos fizikālos procesus. Tika secināts, ka minēta programmatūra ir ļoti piemērota hidrodinamiskiem aprēķiniem, satur vairākus turbulences modeļus, kā arī ir iespējams arī iebūvēt EM spēku Navjē-Stoksa vienādojumā. Bet EM daļas aprēķināšanai piemēroto risinātāju OpenFOAM standarta bibliotēkas nesatur. Tika izpētīts multiRegionPlasmaFoam risinātājs, kurš var būt nopietni modernizēts lai sasniegt izvirzītos mērķus, bet šāda modernizācija prasa nopietnus laika ieguldījumus un programmēšanas zināšanas. *(2.2. aktivitāte)*

**11.**Kvazi-2D tuvinājuma ietvaros ir izveidots skripts 2D EM lauka aprēķināšanai sistēmai ar 4 pretējos virzienos rotējošiem magnētiem ANSYS programmatūrā. Ir izveidots arī skripts automātiskai 3D režģa ģenerēšanai, izmantojot OpenFOAM standarta rīku blockMesh, kā arī interpolātors EM spēka pārnešanai no ANSYS programmatūra uz OpenFOAM. Hidrodinamiskais uzdevums ir rēķināts OpenFOAM LES turbulence modelēšanas pieejas ietvaros. Tika novērota interesanta asimetriska plūsmas uzvedība, kuru jāpēta sīsāk arī turpmāk, attīstot modelēšanas pieeju: pilnais 3D aprēķins, EM un hidrodinamisko aprēķinu iteratīvā sajūgšana un citi. *(2.2.aktivitāte)*

**12.**Veikts literatūras pētījums un apkopota informācija par porainas vides modeļiem, homogenizācijas teoriju, homogenizācijas specifiku sakārtotās un nesakārtotās caurlaidīgās struktūras, homogenizēto vienādojumu formulēšanu, Darsī vienādojuma teoriju, noslēgšanas problēmu un tās atrisināšanas algoritmu, Darsī caurlaidības aprēķināšanas metodiku 2D caurlaidīgās sistēmas, Kozeny-Carman vienādojumiem un atbilstošām empīriskām korelācijām caurlaidības aprēķināšanai. *(2.1. aktivitāte)*

**13.**FEniCS vidē izveidota dubultās vidējošanas programma ātruma, spiediena un magnētiskā spēka šūnu vidējo vērtību aprēķināšanai no 2D skaitliskām simulācijām caurlaidīgās struktūrās. Veikta programmas testēšana un validācija.

Izveidota Darsī caurlaidības 2D aprēķināšanas algoritma realizācija FEniCS vidē, balstoties uz noslēgšanas problēmas atrisināšanu. Veikta algoritma testēšana un sākotnējie hidrauliskās caurlaidības aprēķini ieslēgumu periodiskā konfigurācijā. Rezultāti salīdzināti ar aprēķinātām caurlaidības vērtībām izmantojot Kozeny-Carman vienādojumus un empīriskās korelācijas. Konstatēta laba atbilstība vienkāršo ieslēgumu sistēmu gadījumā. Plānots šo algoritmu lietot Darsī caurlaidības aprēķināšanai arī sarežģītākās sakārtotās un nesakārtotās sistēmās.

Izveidota hidrodinamiskās plūsmas aprēķināšanas programma 2D caurlaidīgās struktūrās gadījumam, kad plūsmu izsauc ārējais spiediena gradients. Veikti aprēķini mainot skaitliskos un ģeometriskos (t.sk. porainību) parametrus. Pielietojot homogenizāciju, rezultāti salīdzināti ar plūsmas aprēķiniem Darsī teorijas ietvaros, izmantojot iepriekš noteikto caurlaidību. Konstatēta laba atbilstība starp poru līmeņa skaitliskām simulācijām un makroskopiskās teorijas rezultātiem.

Veikti magnētiskā koloīda termomagnetoosmotiskās plūsmas caur 2D periodisko ieslēgumu sistēmu nehomogēnās temperatūras apstākļos un magnētiskā lauka klātbūtnē testa aprēķini mainot skaitliskos, ģeometriskos (ieslēgumu konfigurācija, porainība) un fizikālos parametrus. Veikta rezultātu pārbaude, homogenizācija un salīdzināšana ar vienkāršoto Darsī modeli, ietverot magnētiskā spēka locekļi. Konstatēts, ka osmotiskās plūsmas aprēķinu rezultāti sistēmās ar mazu porainību apmierinoši atbilst vienkāršām makroskopiskam modelim.

Teorētiski analizējot ar ārējo magnētisko lauku inducētās magnētiskā lauka perturbācijas nemagnētisko ieslēgumu periodiskās sistēmās aprēķinu rezultātus tika konstatēts, kā magnētiskā koloīda termomagnetoosmozi caurlaidīgās struktūrās izsauc virsmas spēki, nevis tilpuma spēki. *(2.2. aktivitāte)*

**14.**Par pētījuma tematiku sagatavoti referātu pieteikumi un tēzes konferencēm „9th PAMIR InternationalConferenceonFundamentalandApplied MHD” Rīgā („Porescalesimulationofmagnetosolutalmicroconvectioninferrofluidsaturatedporousstructures”) un „11th InternationalMeetingonThermodiffusion” Francijā („Numericalinvestigationofferrofluidthermomagnetoosmosisinporousstructures”). Saņemts apstiprinājums - PAMIR tēzes pieņemtas kā postera prezentācija, IMT tēzes – kā mutiskais referāts *(2.5. aktivitāte)*

**15.**Veicot iegūtā magnetvada radītā spēka vērtības novērtējumu stacionārā gadījumā, konstatēta neprecizitāte pastāvīgo magnētu konfigurācijā, kuru novēršot, mērījumu veikšana turpinājās *(2.2.aktivitāte)*

**16.**Tika veikti skaitliskie rēķini magnetvada radītā spēka un griezes momenta atkarībai no magnetvada loka garuma nestacionārā 2D gadījumā. Iegūtie rezultātipie dažādiem magnetvada loka garumiem attēloti grafikos atkarībā no laika. Veicot grafiku analīzi, datu punkti aproksimēti ar piemeklētām matemātiskām funkcijām, lai noskaidrotu nepārtrauktu sakarību starp lielumiem un ērti atrastu ekstrēmus.*(2.2.aktivitāte)*

**17.**Veicot pirmo ātrumu sensoru kalibrāciju, un pēc tam testa mērījumu veikšanu, tika secināts, ka mērījumus būs nepieciešams veikt arī mazo ātrumu diapazonā, bet esošā kalibrēšanas sistēma nespēja nodrošināt šādus nosacījumus. Līdz ar to bija svarīgi izstrādāt citādāku iekārtu, ar kuru varētu sasniegt vajadzīgos ātrumus. Tas arī tika sekmīgi izdarīts *(2.3aktivitāte)*

**18.**Pat neilgi darbojoties ar šķidro metālu, tas oksidējas, t.i., paliek ar vien mazāk izmantojams eksperimentiem. Tāpat tajā mēdz nokļūt fiziski piemaisījumi no apkārtējās vides. Lai korekti varētu veikt eksperimentus, eutektiku nepieciešams attīrīt, kas nebija kādu laiku darīts. Līdz ar to bija nepieciešams attīrīt (eutektika vairākas dienas tika filtrēta un karsēta vakuumā) vismaz kalibrēšanai nepieciešamo šķidrā metāla daudzumu.*(2.3.aktivitāte)*

**19.**Sākot veikt sensora kalibrēšanu, tika secināts, ka „troksnis” no apkārtējās vides ir pārāk liels – problēma tika risināta, pievienojot vēl piekto – zemes jeb atskaites, jeb nulles – elektrodu pie sensora. Eventuāli divu komponenšu ātruma sensors tika korekti nokalibrēts un var tikt izmantots ātruma mērījumos atvērtā kanālā.

**20.**Janvāra beigās pētāmā sūkņa ideja un eksperimentālais plāns tika prezentēts LU 72. Zinātniskajā konferencē ar nosaukumu „Cilindrisku pastāvīgo magnētu rotoru radītās plūsmas ātrumu novērtējumi un mērījumi atvērtā rezervuārā” sekcijā "Lietišķā magnetohidrodinamika un siltuma pārnese"*(2.3.aktivitāte).*

**21.**Ātruma sadalījuma nomērīšana atvērtā kanālā ir sarežģīts process – plūsma nepārtraukti mainās, un ir iespējams iegūt tikai laikā vidējotu sadalījumu. Ātrums tiek mērīts vairākos punktos, tomēr mērkartes tehniskās īpašības neļauj mērījumus veikt „bezgalīgi” ilgi – mērkarte ilgākā laikā uzkarst un kļūst nelietojama. Līdz ar to mērīšana ir jāsadala vairākos posmos, kur vienā posmā var nomērīt tikai dažus punktus. Viena punkta iegūšana (t.i., ātruma absolūtās vērtības iegūšana konkrētajā punktā) ilgst 20 minūtes. Sākotnēji tika mēģināts vēl ilgāks laiks, taču tas radīja problēmas ar rezultātu atkārtojamību citās dienās. Respektīvi, no vienas puses jāstrādā pēc iespējas lēnāk, lai būtu iespējams korekti vidējot ātruma vērtību laikā, no otras puses jāstrādā pēc iespējas ātrāk, lai iegūtu pēc iespējas vairāk punktus vienā mērīšanas sesijā – jo vairāk posmu, jo lielāka nesaderība viena posma rezultātiem ar nākamā (katrā dienā mērīšanas apstākļi atšķiras – apkārtējās vides temperatūra, eutektikas oksidācija, sensora atkarība no apkārt esošo elektroierīču darbības utt.). *(2.3.aktivitāte)*.

**22.**Februārī tika iegūts ātruma sadalījums horizontālā plaknē vienā augstumā. Veicot mērījumus ātruma perpendikulārajā plaknē, kļuva skaidrs, ka neizpildās ātruma nepārtrauktības nosacījums. Ņemot vērā, ka tas nav iespējams, tad problēma būtu jāmeklē sensorā. Ir skaidrs, ka magnētiskais lauks plūsmas reģionā ir ļoti liels, un ka tas ietekmē sensora darbību. Lai izprastu šo saistību un ieviestu korekciju, kas ļautu (matemātiski) novākt šī periodiski mainīgā magnētiskā lauka ietekmi, ir nepieciešams iegūt magnētiskā lauka sadalījumu telpā. Tika veikti mērījumi dažādos punktos, bet šo rezultātu analīze turpināsies nākamajā posmā *(2.3.aktivitāte)*

**23.**Mērījumu laikā (kalibrācija un reālie mērījumi) paralēli notika aktīvs darbs pie modelēšanas programmu izpētes – nākotnes perspektīvā vislabāk izskatas programmas Fluent un OpenFOAM, bet, ņemot vērā daudzo Fluent speciālistu skaitu un, redzot, ka tas nemaina faktu, ka daudz būtisku problēmu paliek neatrisinātas, uzsvars tiek likts uz OpenFOAM projektu. Konkrētāk tiek mēģināts izprast moduļa multiRegionPlasmaFoam kodu, lai ar laiku būtu iespējams to pielāgot magnētu sistēmas aprēķiniem *(2.3.aktivitāte)*

**24.**Veikts izgatavoto elektromagnētiskās indukcijas sūkņu ar pastāvīgajiem rotējošiem magnētiem apkopojums tabulas veidā, minot vairākus parametrus, tai skaitā attīstīto spiedienu, caurplūdi, motora jaudu, gabarītus, ražotāju un citus*(2.1.aktivitāte)*

**25.**Izstrādāti un sagatavoti dxf formāta faili tālākai ielādēšanai specializētās aprēķinu datorprogrammās simulāciju un aprēķinu veikšanai, cilindriska tipa sūknim ar prognozēto piegādes jaudu 30kW.*(2.2.aktivitāte)*

**26.**Nodrošināta dalība CERN rīkotajā pieredzes apmaiņā, kas norisinājās, PSI institūtā (Šveice), kur iepazināmies ar Eiropas zinātnisko institūciju pieredzi un prasībām EM sūkņu parametru izvēlē un aprēķinā. Kā arī iegūta informācija par pielietojamību tāda tipa iekārtas ar augstas enerģijas starojumu. *(2.5.aktivitāte)*

Projekta zinātniskais vadītājs E. Platacis

06.03.2014