

Finansējuma saņēmēja nosaukums  
**Latvijas Universitāte**

Īstenotā projekta nosaukums

**„Būtiski nestacionāru matemātisko modeļu sistēmas attīstīšana  
pusvadītāju monokristālu audzēšanas rūpnieciskajiem procesiem”**

Īstenotā projekta Nr.

**2013/0051/2DP/2.1.1.1.0/13/APIA/VIAA/009**

Projekta LU reģistrācijas Nr.

**ESS2013/146**

Projekta zinātniskais vadītājs

**Dr.-Phys., Jānis Virbulis**

## **Atskaite par periodu 01.01.2014. – 30.04.2014.**

Uzsākot darbu projektā tika definēti modeļusistēmas un modeļu koncepti, attīstīti, testēti un uzlaboti modeļi, veidotas un testētas jaunas skaitliskās metodes. Projekta rezultāti tika prezentēti LU un DKT konferencēs, par projektu tika informēti esošie klienti.

Atskaites periodā 1. aktivitātes ietvaros tika definēti modeļu koncepti būtiski nestacionāriem modeļiem, nosakot, kā tie bāzēsies uz esošās modeļusistēmas un esošajiem modeļiem un precizējot, kādiem tieši procesiem modeļi tiks izstrādāti. Vislielākā uzmanība tiks pievērsta fāzu robežu attīstībai laikā abiem silīcija kristālu audzēšanas procesiem (CZ un FZ), kas ļaus precīzāk pētīt tādu svarīgu lielumu kā kristāla diametra un kristalizācijas frontes izliekuma attīstību laikā. Tāpat ar augstu precizitāti jāvar aprēķināt izkusušās zonas augstumu FZ metodei un trīskāršā punkta pozīciju CZ metodei. Modeļu attīstība jāņem vērā paralelizācijas iespējas, t.i. ka vairāki aprēķini var strādāt paralēli, kas ir īpaši svarīgi modeļu bāzētas procesa regulēšanas attīstībai, kad modelim reālā laikā jāizskata vairāki varianti un optimālais jāpiedāvā procesa vadībai. Tiks attīstīti arī vairāki nestacionāro procesa vadības modeļi (gan PID, gan modeļbāzēti algoritmi) un mikroskopisko kristālu augšanas nestacionārie aspekti.

Tika izveidots modelis ar laikā mainīgu efektīvo kausējuma siltumvadītspēju CZ procesam, kura būtiski mainās procesa gaitā, tādējādi ietekmējot fāzu robežas un procesa kontroli. Izveidots sajūgts fāzu lauka, elektromagnētiskā lauka un temperatūras aprēķinam lokālā mērogā FZ procesa kušanas fronteī lai aprakstītu nestabilitāšu un regulāru kausējuma struktūru veidošanos. Ir iesākta būtiski nestacionāru procesa vadības un regulēšanas modeļu izveide gan CZ, gan FZ procesam, definēta algoritmu apraksta struktūra, veiksmīgi veikti pirmie testa

aprēķini. Pilnvērtīgam vadības modelim jāvar aprakstīt un vadīt viss kristāla audzēšanas process no sākuma līdz beigām, pie kam dažādās fāzēs nepieciešams lietot dažādus parametrus. Pētītas alternatīvas esošajam starojuma modelim, kuram ir nepietiekama precizitāte CZ sistēmas modelēšanai gadījumā, kad ilgstoša nestacionāra procesa modelēšanā ir jāievēro tīģeļa pārbīde attiecībā pret iekārtu. Tika attīstīts lokāls modelis pārnesei procesiem plānā kārtiņā uz kušanas frontes FZ procesam. Tika tālāk attīstīti un testēti nestacionārie konvekcijas un vielas pārnesei modeļi kausējumā.

2. aktivitātes ietvaros tika veidotas, uzlabotas un pielāgotas skaitliskās metodes. Pētījumos noskaidrots, ka nelielu nestacionāra procesa parametru izmaiņas gadījumā modeļu skaitliskā precizitāte ir nepietiekama, salīdzinājumā ar izmantotajām metodēm kvazistacionāru procesu aprakstam un nestacionāriem procesiem ar lielām parametru izmaiņām. Būtiska ietekme ir skaitliskās metodes režģim, tā izmēram un režģa mainībai aprēķinu gaitā. Tika veidotas skaitliskā režģa kontroles metodes gan FZ, gan CZ modeļiem. Režģa ietekme ir vērojama gan temperatūras, gan it īpaši termisko spriegumu un starojuma aprēķinos. Visiem laukiem tika meklētas piemērotākās skaitlisko algoritmu uzlabošanas metodes, veikti testi un uzlaboti modeļi, attīstība tiks aktīvi turpināta nākamajā atskaites periodā.

Abās aktivitātēs tika veikti testa aprēķini modeļu un skaitlisko metožu attīstības nodrošināšanai un salīdzināšanai ar esošajiem modeļiem, tai skaitā dinamisko un statisko rezultātu salīdzinājums. Aprēķinu rezultātu apkopošanai un ērtai analīzei iesākts veidot rezultātu pārvaldības sistēmu, kurā tiks pārskatāmi apkopoti svarīgākie aprēķinu sēriju parametri un būtiskākie integrālie rezultāti.

Projekta zinātniskais vadītājs

Jānis Virbulis  
Dr.phys., vad.pētnieks