

Názov projektu

Aplikovaný výskum a vývoj procesov pri získavaní monokryštálov a optimalizácie parametrov prípravy veľkorozmerných monokryštálov

Druh projektu

Projekt aplikovaného výskumu (§ 2 ods. c)

Evidenčné číslo projektu

Req-00316-0003

Logo riešiteľa



Riešiteľ

CEIT, a.s., Univerzitná 8661/6A, 010 08 Žilina, ceit@ceitgroup.eu

Spoluriešiteľ

Žilinská univerzita v Žiline, Ústav konkurencieschopnosti a inovácií

Doba riešenia

16.10.2013 – 16.10.2016

Vytvorenie/udržanie pracovných miest vo výskume a vývoji

Pre riešenie úloh VaV v oblasti výskumu a výroby záfiru bolo v štruktúre žiadateľa zriadené pracovisko – divízia Materials Engineering, kde je vytvorených 16 nových pracovných miest.

Etapy

Názov etapy	Začiatok	Ukončenie
Prieskum súčasného stavu vo svete.	10/2013	12/2013
Tvorba matematických modelov a nákup komponentov testovacieho zariadenia.	01/2014	12/2014
Tvorba konštrukčnej dokumentácie a nákup komponentov testovacieho zariadenia..	01/2015	12/2015
Experimentálne overenie procesov prebiehajúcich v tavenine.	01/2016	10/2016

Zodpovedný riešiteľ projektu

prof. Ing. Štefan Medvecký, PhD.

Hlavný cieľ projektu

Pomocou modelovania a experimentálneho testovania procesov prebiehajúcich počas tvorby monokryštálu vytvoriť podmienky pre vývoj technológie výroby veľkorozmerných monokryštálov zažíru. Súčasne vybudovať základy špičkového pracoviska výskumu a vývoja v oblasti technológie výroby monokryštálov.

Vedľajšie ciele projektu

- stavba zariadenia pre testovanie vplyvu parametrov na proces tvorby a rastu monokryštálu,
- experimentálne overenie simulačných modelov,
- vytvorenie znalostnej bázy v oblasti technológie výroby monokryštálov a konštrukcie termických uzlov rastových zariadení.

Finančné prostriedky

Obdobie	2013	2014	2015	2016	Spolu
Celkom	177 304,00	442 570,00	1 259 376,00	617 988,00	2 497 238,00
Vlastné prostriedky	38 920,00	97 149,00	276 449,00	135 656,00	548 174,00
Požadovaná dotácia	138 384,00	345 421,00	982 927,00	482 332,00	1 949 064,00
Podiel vlastných prostriedkov z celkových oprávnených nákladov v %	21,95	21,95	21,95	21,95	21,95

Rozdelenie financií medzi hlavného riešiteľa a spoluriešiteľov

	Dotácia	Vlastné prostriedky	Spolu
CEIT, a.s.	1 556 471,00	437 757,00	1 994 228,00
Žilinská univerzita, ÚKaI	392 593,00	110 417,00	503 010,00
Spolu	1 949 064,00	548 174,00	2 497 238,00

Plánované výstupy riešenia

Výstupy boli naplánované pre jednotlivé etapy riešenia projektu.

Etapa 1 - Prieskum súčasného stavu vo svete

Výstupom etapy je štúdia, ktorej cieľom je vypracovať prehľad o aktuálnom stave techniky a trendoch v oblasti výroby monokryštálov začíru. Štúdia bola zrealizovaná v plánovanom rozsahu a termíne.

Etapa 2 - Tvorba matematických modelov a nákup komponentov testovacieho zariadenia.

Výstupom druhej etapy je virtuálny model tepelného uzla zariadenia, súbor poznatkov potrebných pre optimalizáciu technológie výroby monokryštálov a pre konštrukciu rastových zariadení. Súčasne sa začnú nakupovať komponenty testovacieho zariadenia, ktoré je možné v tomto štádiu riešenia vyšpecifikovať. Cieľom etapy je vytvoriť virtuálny model a skúmať termofyzikálne procesy pri tvorbe monokryštálu z taveniny, na základe čoho bude možné optimalizovať konštrukciu tepelného uzla a parametre technologického procesu.

Etapa 3 - Tvorba konštrukčnej dokumentácie a nákup komponentov testovacieho zariadenia

Výstupom tretej etapy je konštrukčná dokumentácia a súbor špecifikácií komponentov zariadenia pre testovanie technologického procesu. Súčasne budú vypracované špecifikácie pre nákup a výrobu ďalších komponentov zariadenia.

Etapa 4 - Experimentálne overenie procesov prebiehajúcich v tavenine.

Výstupom štvrtej etapy sú verifikované matematické modely a špeciálne testovacie zariadenie. Cieľom tejto etapy je experimentálne overenie a odladenie matematických modelov procesov pomocou testovacieho zariadenia.

Medzi celkovými očakávanými výstupmi z projektu je potrebné uviesť:

- vybudovanie základov špičkového pracoviska výskumu a vývoja v oblasti technológie výroby monokryštálov,
- zapojenie špičkových zahraničných výskumníkov z oblasti výroby monokryštálov s vlastným know-how získaným vo výskumno-vývojových a výrobných zahraničných spoločnostiach,
- vytvorenie informačného zdroja v oblasti výskumu, vývoja a výroby monokryštálov zaříru, ktorý bude využívať pri riešení nadväzujúcich projektov VaV,
- vytvorenie predpokladov pre zapojenie žiadateľa a SR do medzinárodnej deľby práce v oblasti nanomateriálov a monokryštálov.

Hlavné realizované výstupy (výsledky) za prvý rok riešenia

V prvom roku riešenia bolo naplánované a aj zrealizované riešenie prvej etapy - Prieskum súčasného stavu vo svete. Výstupom riešenia bola štúdia, v ktorej boli podané základné informácie o korunde, jeho formách, fyzikálnych a chemických vlastnostiach zafíru.



a

b

c

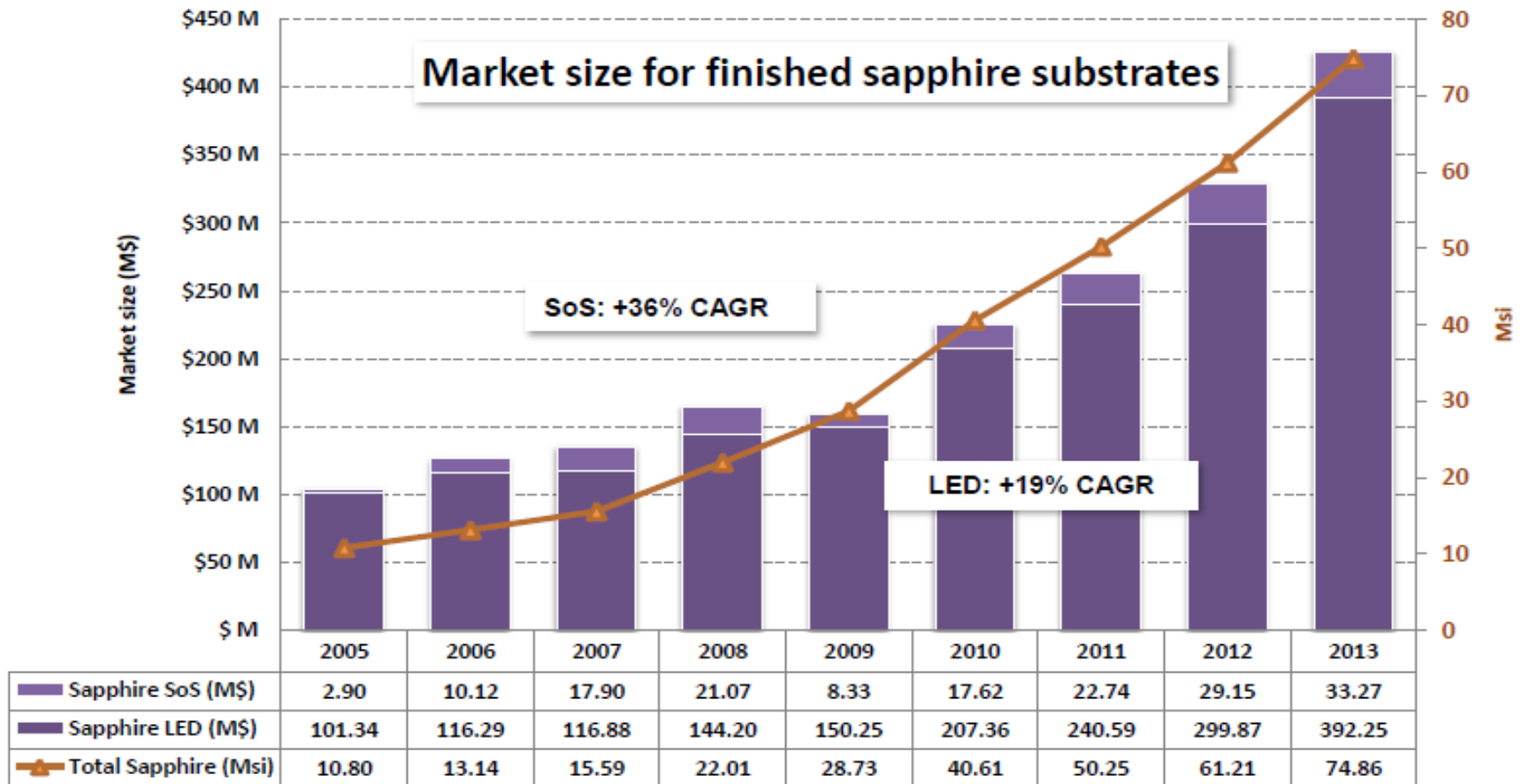
d

e

Obr. 1 Rôzne variácie korundu, a – rubín, b – padparadascha, c – fialový zafír, d – modrý zafír, e – bezfarebný zafír

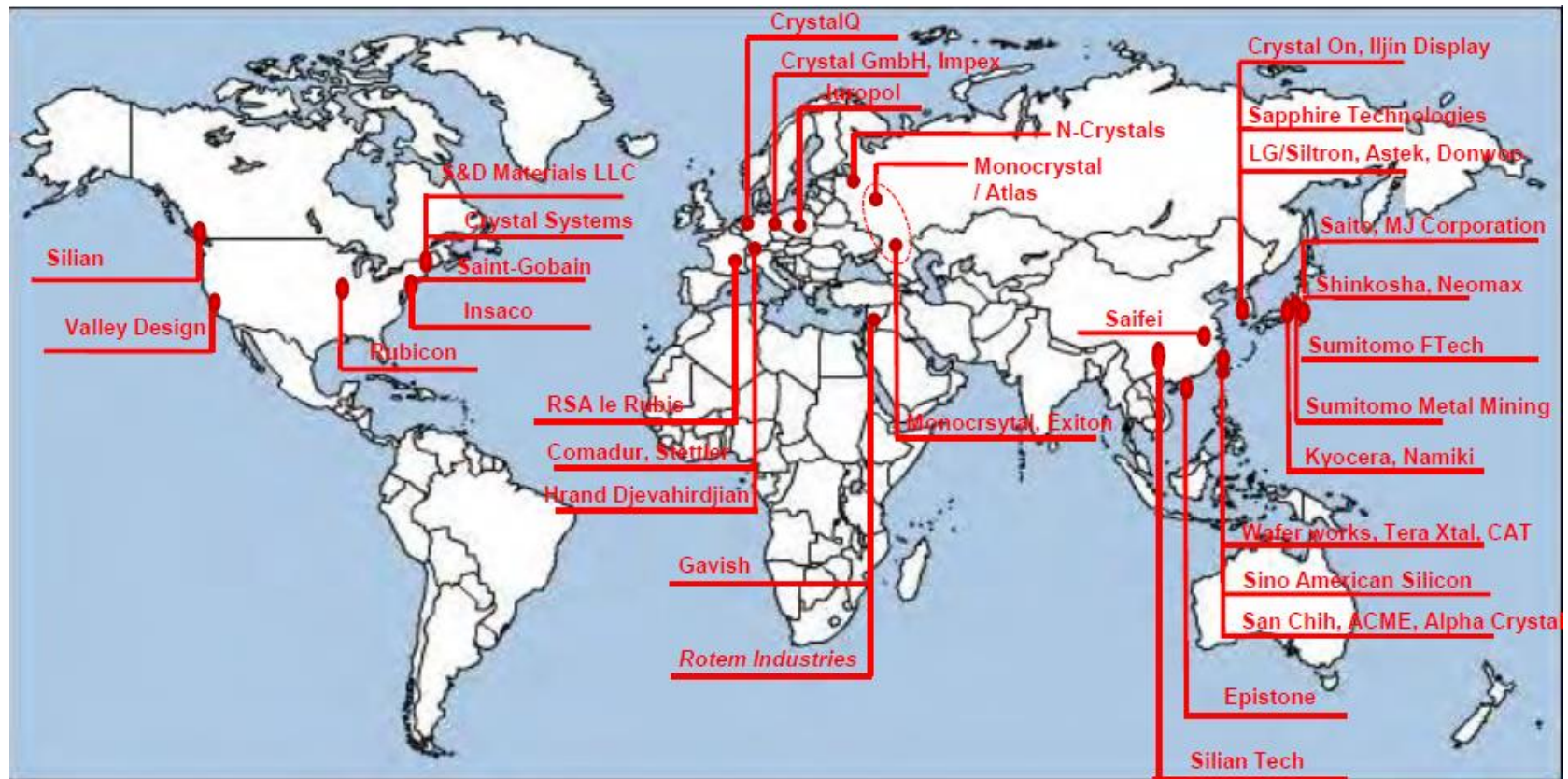
Ďalej boli v štúdiu uvedené oblasti použitia, kde významnú úlohu zohráva elektronika a to najmä výroba LED diód a CMOS integrovaných obvodov. Nemenej významnú úlohu hrá zafír v optike, optoelektronike, pri výrobe prieszorov, transparentných pancierov a displejov. Stále častejšie sa používa na implantáty v medicíne a tiež ako konštrukčný materiál.

Štúdiá sa zaoberá prehľadom trhu s produktami zo zaříru, veľkosť trhu je na obr.2.



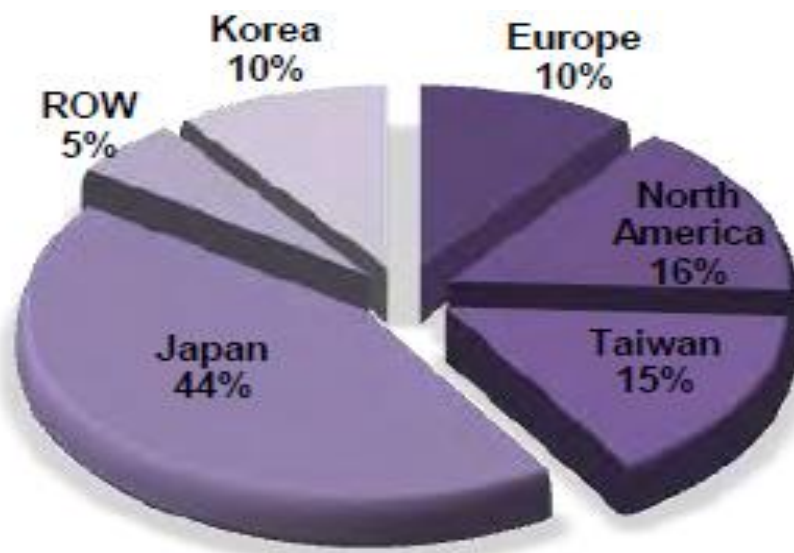
Obr. 2 Veľkosť trhu vybraných hotových zařírových produktov

Na obr. 3 je znázornené geografické rozdelenie producentov zafíru. Je potrebné upozorniť na skutočnosť, že na území Európy bez Ruska je uvedených len päť spoločností, z ktorých jedna medzičasom ukončila činnosť a tri pôsobia v oblasti šperkárstva.



Obr. 3 Prehľad významných spoločností v oblasti produkcie zafíru z roku 2010

Na obr. 4 je uvedené členenie výnosov podľa pôvodu firiem, kde na Európu spolu s Ruskom pripadá len 10%.



Obr. 4 Členenie výnosov podľa krajín pôvodu firiem

Z uvedených čísel je zrejmé výrazné zaostávanie EU v produkcii zaříru za zvyškom sveta.

Z ďalších ukazovateľov trhu je vidieť rastúci dopyt po veľkoplošných polotovaroch či už v oblasti substrátov pre LED diódy alebo v oblasti priezorov a optiky.

V ďalšej časti štúdie sú popísané metódy umelého rastu monokryštálov a konkrétne výrobné zariadenia.

Z uvedeného prehľadu techniky vyplýva, že vývoj zariadení sa sústredil najmä na metódy založené na vertikálnom raste kryštálov, ktoré však majú svoje nevýhody a pri tlaku na znižovanie ceny produkcie narážajú na svoje hranice. Tu sa ukazuje priestor pre rozvoj metód horizontálnej kryštalizácie vďaka ich výhodám v oblasti kvality produkovaných kryštálov a potenciálu na dosahovanie nižších cien finálnych výrobkov.



Obr. 5 Stroj s označením K1 spoločnosti Thermal Technology (USA) pre rast zafíru Kyropoulosovou metódou

Popis prínosov za prvý rok riešenia

Prínosom vypracovanej štúdie je najmä:

- Vypracovanie prehľadu o trhu a potvrdenie rastúceho dopytu po výrobkoch zo zafíru, najmä v oblasti veľkorozmerových kryštálov
- Prehľad stavu techniky a hlavných hráčov v oblasti výroby zariadení pre rast kryštálov
- Potvrdenie potenciálu horizontálne smerovanej kryštalizácie pre oblasť výroby veľkorozmerových kryštálov a tým aj potvrdenie správnosti a aktuálnosti cieľov projektu.

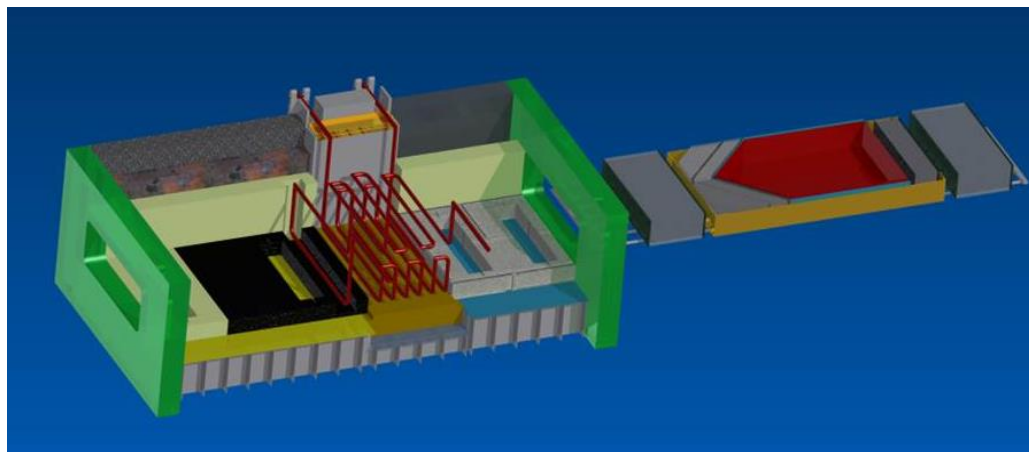
Hlavné realizované výstupy (výsledky) za druhý rok riešenia

V druhom roku riešenia bolo naplánované a aj zrealizované riešenie druhej etapy - Tvorba matematických modelov a nákup komponentov testovacieho zariadenia.

Tvorba matematických modelov

Dôvody pre zaradenie etapy do projektu:

Vyspelá technológia výroby monokryštálov je určovaná technickými parametrami zariadenia a kvalitou riadenia procesu kryštalizácie. Získanie kvalitného hardvéru je podmienkou úspešnosti projektu a tomuto je venovaná náležitá pozornosť. Tepelný uzol zariadenia je jeho najdôležitejším a najťažšie zvládnuteľným uzlom ako po stránke návrhu tak aj výroby.



Extrémne požiadavky na tepelný uzol:

- použité materiály musia odolávať teplotám až 2 300 °C po dobu desiatok hodín pri zachovaní požadovaných parametrov
- potreba homogenity teplotných polí v tavenine
- v určitom mieste je potrebné dosiahnuť správny teplotný gradient
- použité materiály musia byť kompatibilné s vákuom za vysokých teplôt a s dostatočnou chemickou odolnosťou
- minimalizácia tepelných strát = nižšie požiadavky na príkon
- takmer nemožný monitoring procesov prebiehajúcich v tepelnom uzle

Vzhľadom na komplexnosť problematiky, časovú a finančnú náročnosť výroby tepelného uzla a reálnych skúšok je nevyhnutné pri konštruovaní a optimalizovaní využiť moderné nástroje a postupy.

Virtuálny model umožňuje nasimulovať správanie tepelného uzla počas prevádzky a vykonať optimalizáciu konštrukcie ešte pred jeho výrobou. V optimálnom prípade sa výsledky simulácií potvrdia v reálnych podmienkach alebo sa na základe zistení z prevádzky vykoná korekcia virtuálneho modelu a postup sa zopakuje.

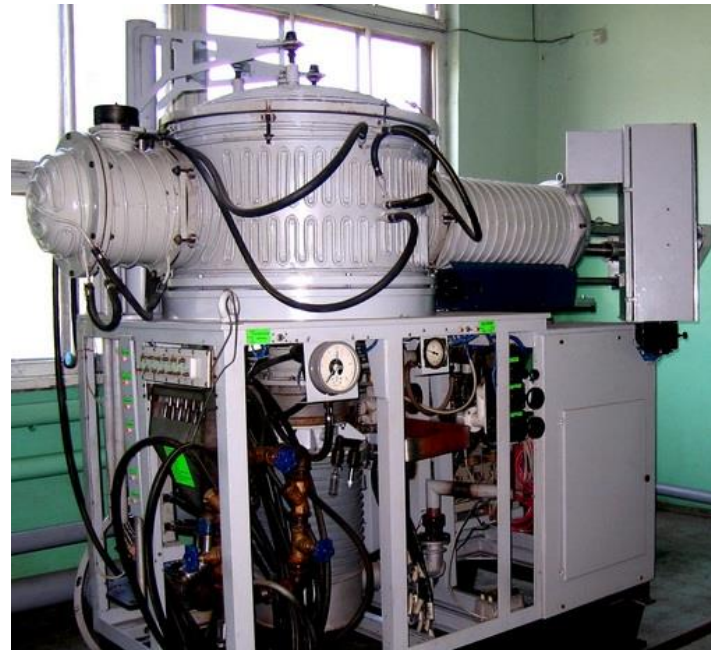
Postup riešenia

Zložitosť komplexného modelu vyžaduje riešenie step-by-step.

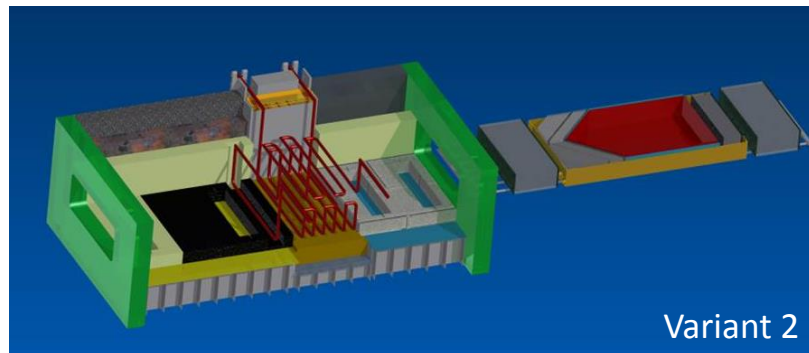
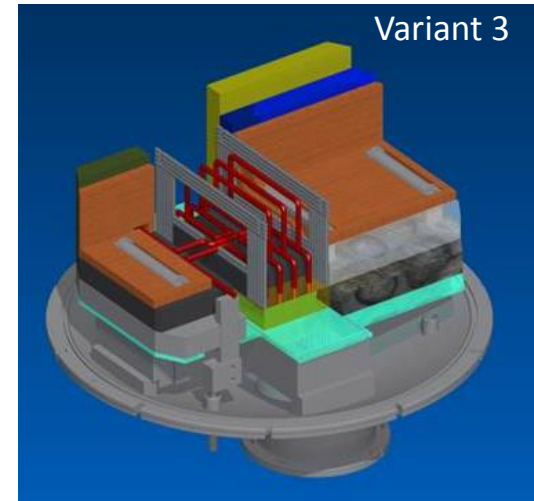
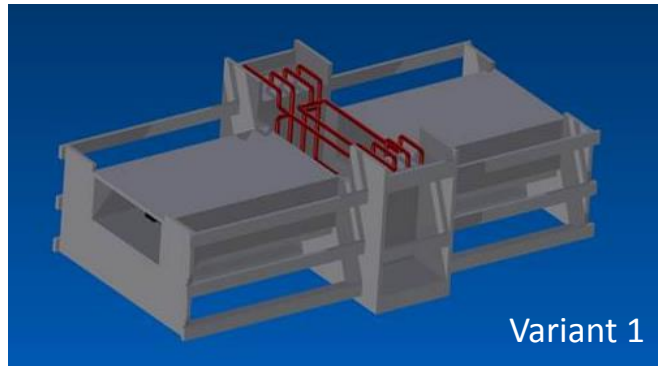
V prvom kroku bola navrhnutá základná koncepcia tepelného uzla.

Východiskovými parametrami boli veľkosť a tvar vákuovej komory.

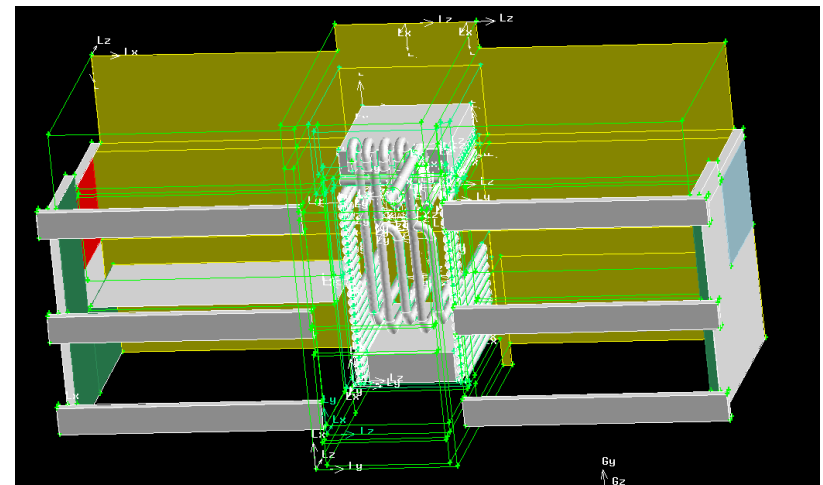
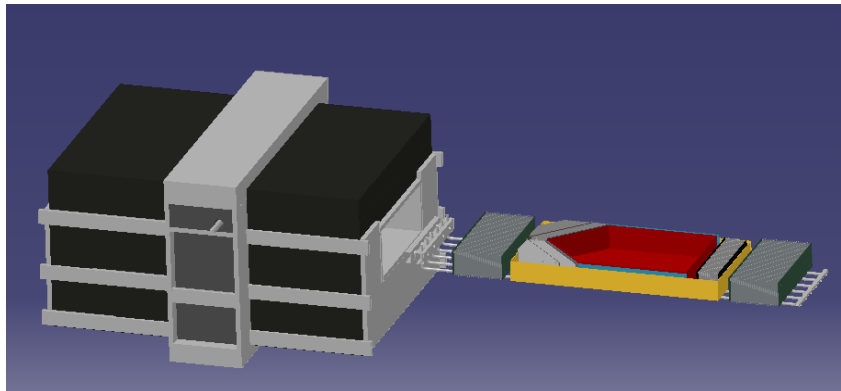
Za základ bola zvolená osvedčená koncepcia vákuovej komory pochádzajúca zo zariadení HDC koncipovaných v Sovietskom zväze.



Po stanovení koncepcie vákuovej komory boli navrhnuté 3 variantné riešenia samotného tepelného uzla

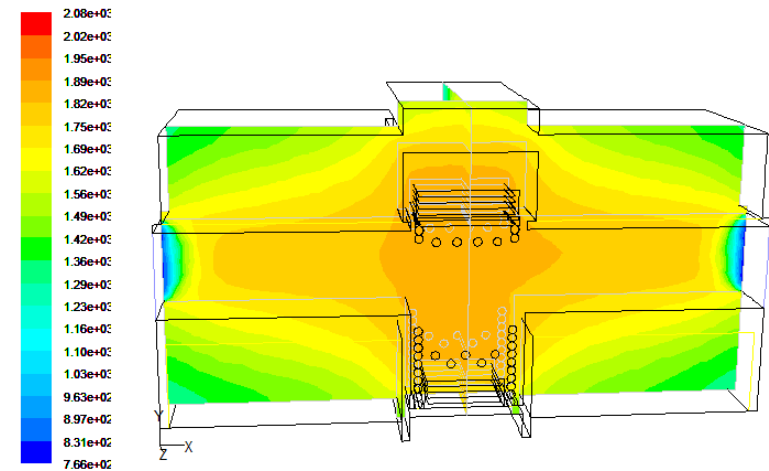
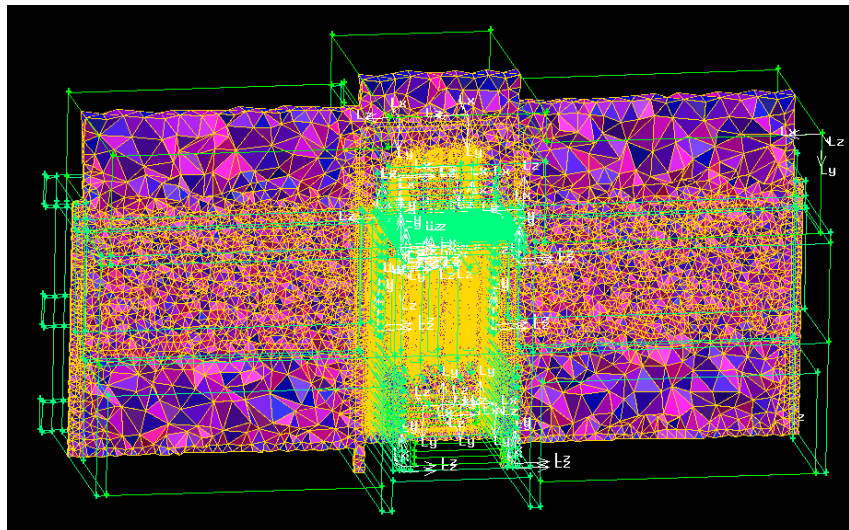


Po internej oponentúre bol vybratý variant pre tvorbu virtuálneho modelu tepelného uzla, ktorý bol podkladom pre tvorbu podrobného 3D modelu vákuovej komory spolu s tepelným uzlom. 3D model bol následne transformovaný do softvéru na simulácie metódou CFD.



Ďalej bol model vysieťovaný, boli zadané parametre materiálov, okrajové podmienky a spustený výpočet.

Výstupom výpočtu sú teplotné polia alebo izotermy v štruktúre tepelného uzla.



Contours of Total Temperature (c)

Nov 14, 2014

Na základe interpretácie výstupov boli zhodnotené kvality návrhu a vypracované návrhy úprav konštrukcie. Pri samostatných výpočtoch boli podrobené analýze aj jednotlivé prvky tepelného uzla – ohrievač, radiačné clony, za účelom lepšieho pochopenia ich správania sa pri vystavení podmienkam vo vákuovej komore.

Riešenie step-by-step spočíva v tom, že predmetom simulácií v prvom kroku je len samotný tepelný uzol bez vložených pohyblivých častí a bez suroviny. Dôvodom je vysoký stupeň zložitosti modelu, množstvo presne nedefinovaných parametrov a komplikovaná verifikácia.

Tento model bude následne verifikovaný pomocou série meraní pri reálnych podmienkach zodpovedajúcich výpočtu, t.j. chod „naprázdno“ bez vlozenej lodičky a suroviny.

Na základe výsledkov meraní bude korigovaný matematický model tak, aby jeho výstupy zodpovedali reálnym meraniam.

V ďalšom kroku budú do virtuálneho modelu doplnené ďalšie komponenty a výsledky simulácie budú opäť konfrontované s reálnymi meraniami.

Výsledkom bude verifikovaný matematický model, s ktorým bude možné vykonávať ďalšie simulácie pri modifikáciách a optimalizácii konštrukcie.

Opakované simulácie a optimalizácia je kontinuálny proces, ktorý bude neustále prebiehať za účelom zlepšovania technologických procesov a konštrukcie zariadenia.

Nákup komponentov testovacieho zariadenia

Nákup komponentov prebiehal v dvoch krokoch.

Prvým bolo špecifikovanie požiadaviek na jednotlivé komponenty. Toto bolo možné vykonať až po stanovení základnej koncepcie zariadenia a na základe základného konštrukčného návrhu vákuovej komory a tepelného uzla.

Zariadenie bolo rozdelené na jednotlivé komponenty alebo podzostavy:

- nosný rám
- vákuová komora
- tepelný uzol
- chladiaci systém
- systém lineárneho posuvu
- výkonový elektrický systém
- riadiaci systém
- monitorovací systém

Pre tieto prvky boli vypracované súbory špecifikácií, ktoré sa postupne upresňovali a po ich finalizácii boli podkladom pre verejné obstarávanie. VO bolo zabezpečené cez externú spoločnosť a ukončené bolo v závere roka.

Vzhľadom na rozpočet na rok 2014 a pri zohľadnení možností ďalších testov boli ako prvé zakúpené komponenty:

- systém lineárneho posuvu mechanika
- systém lineárneho posuvu elektronika
- výkonový elektrický systém

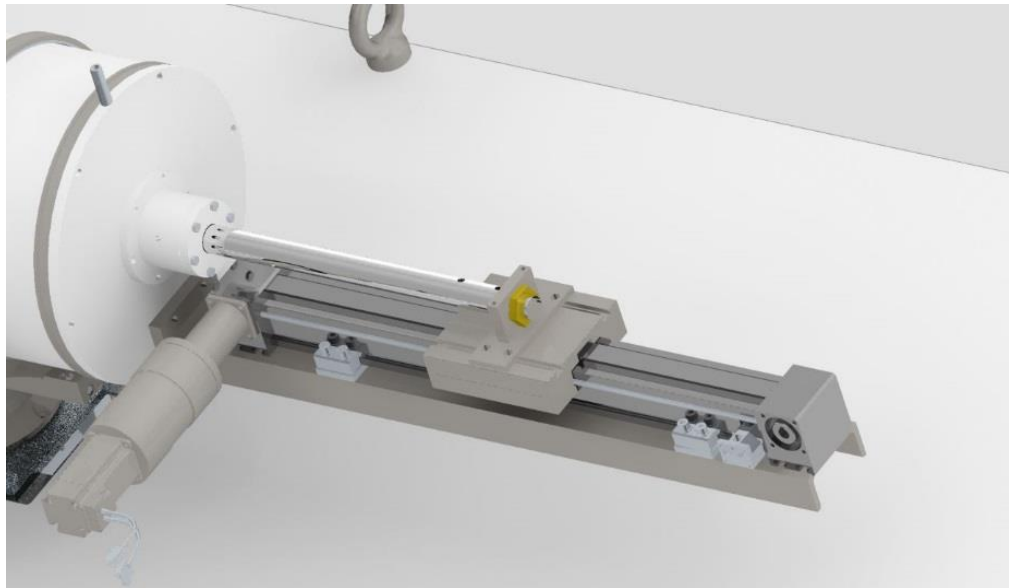
Systém lineárneho posuvu bol pri obstarávaní rozdelený na dve časti z dôvodu samostatných špecifikácií pre každú časť. Požiadavka riešiteľa je na samostatnosť a univerzálnosť jednotlivých častí, aby pri prípadnej potrebe výmeny komponentu za iný nebolo potrebné meniť celý systém.

Tento systém vykonáva horizontálny posuv lodičky s taveninou v tepelnom uzle. Musí spĺňať náročné požiadavky na plynulosť chodu, nakoľko nežiaduce zrýchlenia lodičky s taveninou môžu zapríčiniť poruchy v štruktúre kryštálu.

Systém zabezpečuje rýchlosti posuvu od 4 do 30 mm/hod a rýchloposuv pre manipuláciu pri ustavovaní zariadenia. Riadenie posuvu bude zabezpečené prostredníctvom signálov zo systému riadenia.

System lineárneho posuvu je zložený z dielov:

- hnací elektromotor integrovaný s prevodovkou
- lineárne vedenie
- pohyblivý bežec s bezvôľovým uchytením posuvovej tyče
- riadiaca elektronika



Výkonový elektrický systém napája odporové volfrámové ohrievače v tepelnom uzle. Zabezpečuje transformáciu striedavého napätia 400 V na jednosmerné nízke napätie a vysoké hodnoty prúdu až 1 500 A. Musí spĺňať vysoké nároky na stabilitu výstupného napätia a prúdu. Pre ochranu ohrievačov a samotného zdroja je vybavený súborom ochrán. Riadenie umožňuje cez štandardné rozhrania komunikáciu s nadradeným riadiacim systémom.



Vyhodnotenie prínosov za rok 2014

technické

- sumarizácia požiadaviek a tvorba špecifikácií pre stavbu testovacieho zariadenia na vývoj technológie
- vypracovanie koncepcie testovacieho zariadenia
- návrh a výber variantu tepelného uzla, vytvorenie jeho matematického modelu a realizácia simulácií jeho správania pri ohreve vo vákuovej komore
- získanie podkladov pre konštrukčný proces a ďalšie simulácie

spoločenské

- obsadenie 8 pracovných miest z toho 7 pre prácu vo vede a výskume + 2 pracovné miesta na ŽU
- vytvorenie spoločného pracoviska CEIT a ŽU a sformovanie pracovného kolektívu
- tvorba databázy poznatkov v záujmovej oblasti

materiálne

- obstaranie troch komponentov testovacieho zariadenia a vytvorenie podmienok pre dodávku všetkých položiek v oblasti kapitálových výdavkov
- vybavenie výskumnej infraštruktúry

Plán činností na rok 2015

- pokračovanie v simuláciách a príprava verifikácie matematických modelov pomocou meraní v reálnej prevádzke
- finalizácia konštrukcie a tvorba konštrukčnej dokumentácie testovacieho zariadenia
- nákup ďalších komponentov testovacieho zariadenia
- testovanie jednotlivých komponentov, montáž a oživenie zariadenia.

Hlavné realizované výstupy (výsledky) za tretí rok riešenia (2015)

V treťom roku riešenia bolo naplánované a aj zrealizované riešenie tretej etapy - Tvorba konštrukčnej dokumentácie a nákup komponentov testovacieho zariadenia.

Tvorba konštrukčnej dokumentácie

Počas riešenia predchádzajúcich etáp projektu bola na základe prieskumu trhu a stavu techniky odhalená oblasť, kde je vysoký potenciál uplatnenia technológie HDC pre rast monokryštálov zaříru. Táto technológia môže prekonať limity, ktoré obmedzujú súčasne využívané technológie v pokrytí perspektívnych oblastí trhu.

Cieľom predošlej etapy bola najmä problematika konštrukcie tepelného uzla, ktorý je srdcom rastového stroja a vytvára podmienky pre rast monokryštálov a ich kvalitu.

Na základe realizovaných simulácií boli identifikované požadované vlastnosti konštrukčných prvkov tepelného uzla, od ktorých sa odvíjali požiadavky na ostatné komponenty rastového zariadenia pre testovanie technológie.

Tieto výsledky boli využité pri finálnom návrhu dizajnu celého zariadenia.

Postup riešenia

Na základe celkových požiadaviek bola navrhnutá koncepcia testovacieho zariadenia a spracovaná konštrukčná dokumentácia týchto skupín:

- Teleso vákuovej komory
- Nosný rám
- Manipulátor vákuovej komory
- Vákuový systém
- Chladiaci systém
- Systém lineárneho posuvu
- Riadiaci systém
- Riadiaci SW
- Monitorovací systém
- Dataloger
- Modulárny výkonový elektrosystém
- Tepelná jednotka

Na základe konštrukčnej dokumentácie a špecifikácií boli vyrobené a dodané ďalej popísané komponenty.

Teleso vákuovej komory, nosný rám



Manipulátor vákuovej komory



Vákuový systém



Chladiaci systém



System lineárneho posuvu



Riadiaci systém



Modulárny výkonový elektrosystém

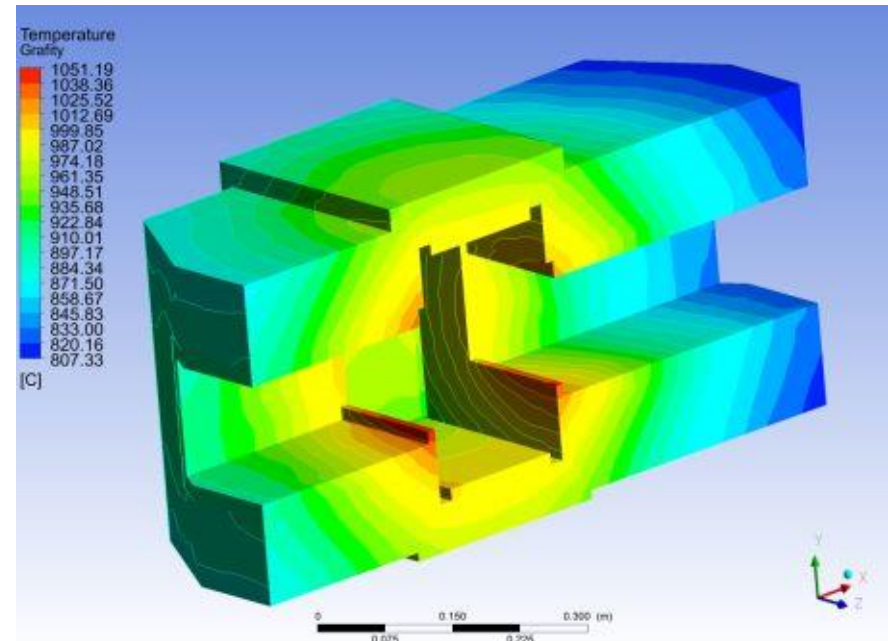
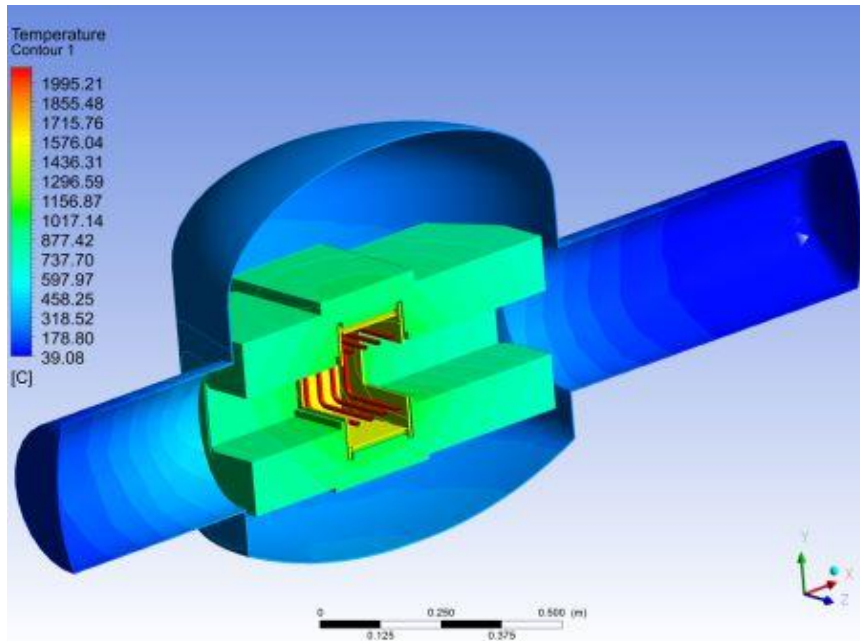


Tepelná jednotka



Tepelná jednotka

Pokračujúce simulácie a verifikácia meraniami



Nákup komponentov testovacieho zariadenia

Na základe vypracovaných špecifikácií jednotlivých komponentov zariadenia a zrealizovaného verejného obstarávania boli počas riešenia v roku 2015 nakúpené komponenty v rámci kapitálových výdavkov a tiež materiál, ktorý bol použitý pri stavbe zariadenia a pri skúškach.

Špecifikácia jednotlivých položiek verejného obstarávania a s tým spojená dokumentácia boli predložené v správe z riešenia projektu.

Skúšky komponentov

Po montáži komponentov boli jednotlivé komponenty samostatne otestované a následne bolo oživené celé zariadenie.

Vyhodnotenie prínosov za rok 2015

vedecko-technické

- zhotovenie konštrukčnej dokumentácie testovacieho zariadenia
- ďalšie rozpracovanie simulácií teplotných polí
- odskúšanie požadovaných parametrov komponentov testovacieho zariadenia

spoločenské

- vyvolaný projekt výskumu a vývoja – podaná žiadosť do výzvy MŠVVaŠ SR na projekty rusko-slovenskej vedecko-technickej spolupráce. Téma projektu v žiadosti: Vytvorenie expertného systému tvorby optimálnych technologických riešení pre procesy pestovania veľkorozmerných zařírových monokryštálov vysokej kvality pre mikro- a nanoelektroniku.
- tvorba databázy poznatkov v záujmovej oblasti
- obsadenie ďalších troch pracovných miest výskumníkmi, od začiatku projektu spolu 11

materiálne

- obstaranie ôsmich komponentov testovacieho zariadenia
- zhotovenie testovacieho zariadenia a jeho uvedenie do prevádzky.

Plán riešenia na rok 2016

V roku 2016 je plánované riešenie etapy: Experimentálne overenie procesov prebiehajúcich v tavenine.

V rámci etapy je plánovaná realizácia série rastov monokryštálov podľa plánu skúšok. Cieľom bude pri rôznych kombináciách prípravy vsádzky a kryštalizačných režimov odskúšať vplyvy jednotlivých parametrov na priebeh procesu a kvalitu kryštálu. Súčasne na základe detailnej diagnostiky kryštálov nepriamo identifikovať procesy prebiehajúce v tavenine.

Výsledkom bude súbor poznatkov umožňujúci optimalizovať technologický proces a konštrukciu zariadenia pre výrobu veľkorozmerných monokryštálov.

Hlavné realizované výstupy (výsledky) za štvrtý rok riešenia (2016)

V štvrtom roku riešenia bolo naplánované a aj zrealizované riešenie štvrtej etapy - Experimentálne overenie procesov prebiehajúcich v tavenine. Ukončením tejto etapy bol súčasne ukončený celý projekt.

Predmetom riešenia etapy bolo overiť správnosť predpokladov a výstupov predchádzajúcich etáp počas reálnych rastových procesov a na základe získaných poznatkov aplikovať zmeny v konštrukcii testovacieho zariadenia alebo v technologickom procese. Cieľom bolo získať verifikované simulačné modely a odladiť testovacie zariadenie tak, aby na ňom bolo možné realizovať ďalšie výskumné úlohy a optimalizovať technológiu rastu monokryštálov.

Riešenie v roku 2016 bolo zamerané na tieto oblasti:

- experimentálne overenie procesov prebiehajúcich v tavenine,
- simulácie a ich verifikácia.

Experimentálne overenie procesov prebiehajúcich v tavenine

Odskúšanie funkcie celého zariadenia a príprava na testovacie tavby. Odskúšanie bolo vykonané v 3 fázach:

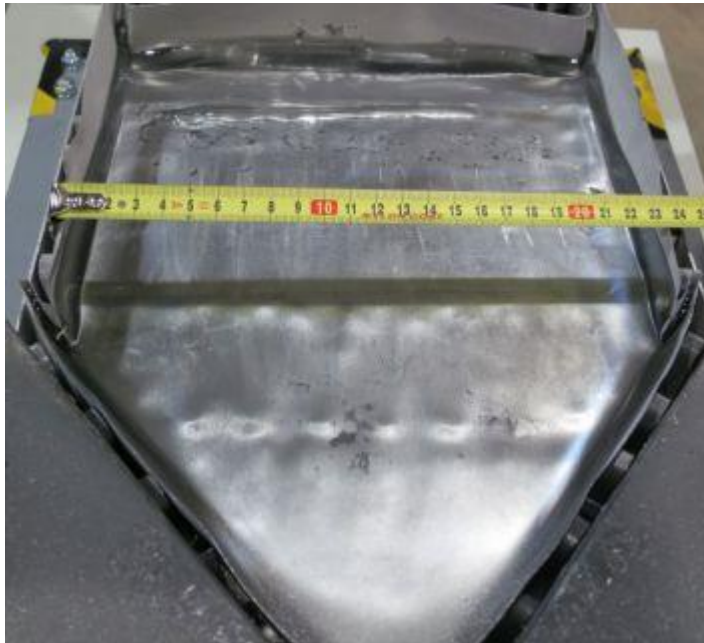
1. Skrátená simulácia technologického procesu pri zníženom výkone ohrievačov.
2. Dosiahnutie maximálnych dovolených teplôt na ohrievači, vykonanie „zábehu“ tepelného uzla.
3. Skúšobná tavba malej vzorky materiálu.

Po bezproblémových skúškach nasledovali pokusy na získanie monokryštálu. Prvý pokus bol úspešný len čiastočne.

Získané boli 2 monokryštály – hlavný a parazitický. Príčina bola identifikovaná.



Po analýze výsledkov prvého pokusu nasledoval druhý pokus s dobrým výsledkom.



Parametre získaného kryštálu:

- žiadne viditeľné optické chyby,
- nízke zvyškové napätia.

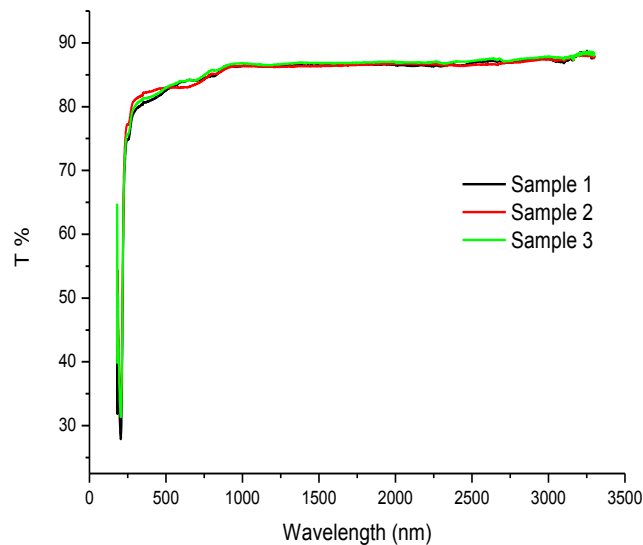
Potvrdenie správneho návrhu koncepcie a parametrov testovacieho zariadenia ako aj jeho kvalitnej realizácie.

Ďalšie rasty boli zamerané na zväčšovanie dĺžky monokryštálu, optimalizáciu hrúbky a skúšky rôznych druhov suroviny.



Príklady rôzneho usporiadania vsádzky rôznych druhov suroviny v kryštalizačnom kontajneri.

Okrem vizuálnych parametrov boli posudzované aj ďalšie parametre, napr. transmisivita.



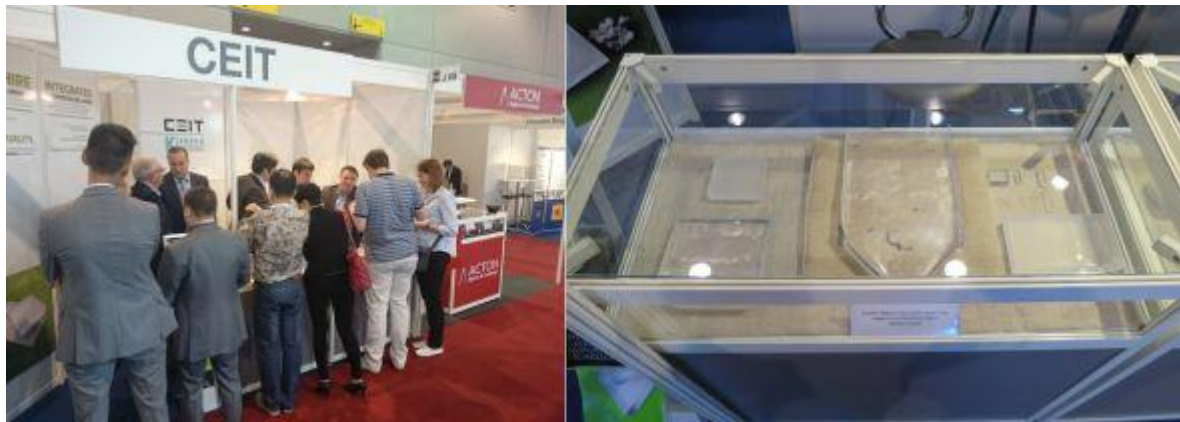
Na testovacom zariadení sa vyskytlo aj niekoľko porúch, ktoré dodávatelia v rámci záruky odstránili.

Účasť na medzinárodnom veľtrhu OPTATEC vo Frankfurte nad Mohanom v júni 2016 ako vystavovateľ.

Prezentácia dosiahnutých výsledkov:

- surové monokryštály a opracované pravouhlé bloky,
- technológia horizontálne smerovanej kryštalizácie.

Značný záujem návštevníkov.



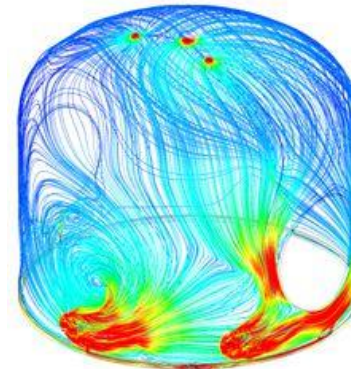
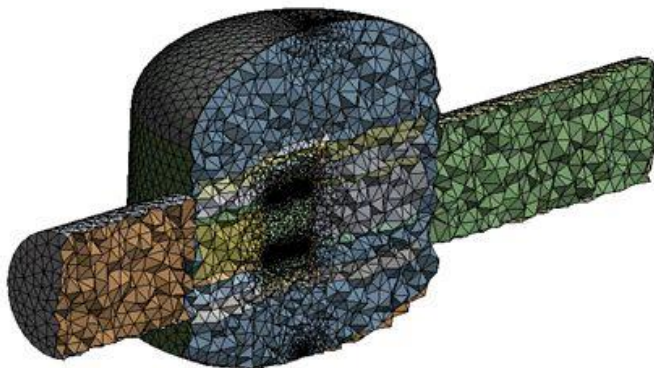
Simulácie a ich verifikácia

Okrem rastového programu v roku 2016 pokračovalo riešenie simulácií:

- zohľadňovanie zmien vykonávaných na komponentoch kryštalizačného zariadenia,
- aplikácia získaných dát z reálnej prevádzky,
- požiadavky na spresňovanie výstupov,
- spresňovanie výpočtových modelov a prehĺbovanie úrovne simulácií.

Doplnenie a prehĺbenie virtuálneho fyzikálneho modelu rastu

Model tepelného uzla bol doplnený o konštrukčné úpravy, doplnené boli model chladenia plášťa vákuovej komory a model elektrického ohrevu.



Vyhodnotenie simulácií

Výsledkom realizovaných analýz zosúladených s reálnym experimentom je detailná znalosť podmienok v rastovej komore a to aj v miestach nedostupných pre reálne merania. Poskytuje to možnosť doladovania samotného procesu rastu s prihliadnutím na udržanie kvality finálneho kryštálu pri súčasnom zvýšení rýchlosti rastu. Tiež je možné sledovať správanie systému v extrémnych podmienkach (napríklad poruchové stavy), ktorých realizovanie v praxi by bolo spojené s rizikom poškodenia zariadenia. Otvára sa aj možnosť overovať nové prístupy, presnejšie zdefinovať vplyv jednotlivých parametrov a spresniť pracovné okná, v ktorých sa musia udržiavať dôležité procesné parametre.

Kvalitne zostavený fyzikálny model rastového procesu poskytuje možnosť zohľadniť vplyv nových optimalizačných prístupov, pričom bude možné jednoznačne posúdiť mieru ich pozitívneho vplyvu.

Záver

Skúšky jednotlivých komponentov a celého testovacieho zariadenia potvrdili, že koncepčné rozhodnutia, špecifikácia parametrov ako aj konštrukčné riešenia boli urobené správne. Časový harmonogram riešenia pre rok 2016 je splnený. Po zrealizovaní skúšok kryštalizácie je možné skonštatovať, že testovacie zariadenie bolo zhotovené v súlade so zadaním a zabezpečuje očakávané výstupy. V priebehu riešenia etapy boli identifikované určité chyby a nedostatky, ktoré boli následne odstránené, čo v prípade stavby takto ojedinelého zariadenia je bežné. Pokračujúce dopĺňanie a spresňovanie fyzikálnych modelov spresnilo výstupy simulácii a reálne merania potvrdil ich správnosť. Pomocou simulácii boli následne optimalizované časti konštrukcie tepelného uzla a tiež technologické režimy rastu. V prípade potreby je teraz možné cielene upravovať konštrukciu alebo meniť technologické parametre bez zdĺhavých opakovaných experimentov.

V nasledujúcom období bude prebiehať optimalizácia technologického procesu výroby monokryštálov s ohľadom na produktivitu a požadovaný stupeň kvality kryštálu. Dosiahnuté výsledky riešenia etapy č. 4 vytvorili predpoklady pre dosiahnutie ďalších výstupov s vysokým potenciálom komerčného uplatnenia na trhu.

Vyhodnotenie prínosov za rok 2016

vedecko-technické

- prehĺbenie fyzikálneho modelu rastového zariadenia,
- realizácia experimentálnych rastov a ich vyhodnotenie

spoločenské

- vyvolané projekty výskumu a vývoja – schválená žiadosť do výzvy MŠVVaŠ SR na projekty rusko-slovenskej vedecko-technickej spolupráce, názov projektu: Vytvorenie expertného systému tvorby optimálnych technologických riešení pre procesy pestovania veľkorozmerných zařírových monokryštálov vysokej kvality pre mikro- a nanoelektroniku, podaná žiadosť do výzvy MŠVVaŠ SR OPVaI-VA/DP/2016/1.2.1-03, názov projektu: Výskum progresívnych materiálov pre priemysel,
- tvorba databázy poznatkov v záujmovej oblasti,
- obsadenie ďalších troch pracovných miest výskumníkmi, od začiatku projektu spolu 16
- prezentácia výsledkov riešenia na medzinárodnom veľtrhu v zahraničí,

materiálne

- doplnenie posledných komponentov testovacieho zariadenia,
- vyrobené vzorky monokryštálov.