



# Vývoj a realizace monitorovacího systému vakuové napařovačky

Ing. David Vápenka

doc. Ing. Pavel Mokrý Ph.D.

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Ústav mechatroniky a technické informatiky

## ABSTRACT

This paper deals with design and realization of a control system for a vacuum evaporation machine. In vacuum evaporation is very important to monitor and control a lot of parameters. Especially temperature, or evaporation rate influence density and quality of the thin layer. Due to this, control of these parameters with high accuracy is very useful.

Aim of this work is to design and realize monitoring and control system, which will be able to provide measuring and control of the evaporation parameters with sufficient accuracy.

## CÍL

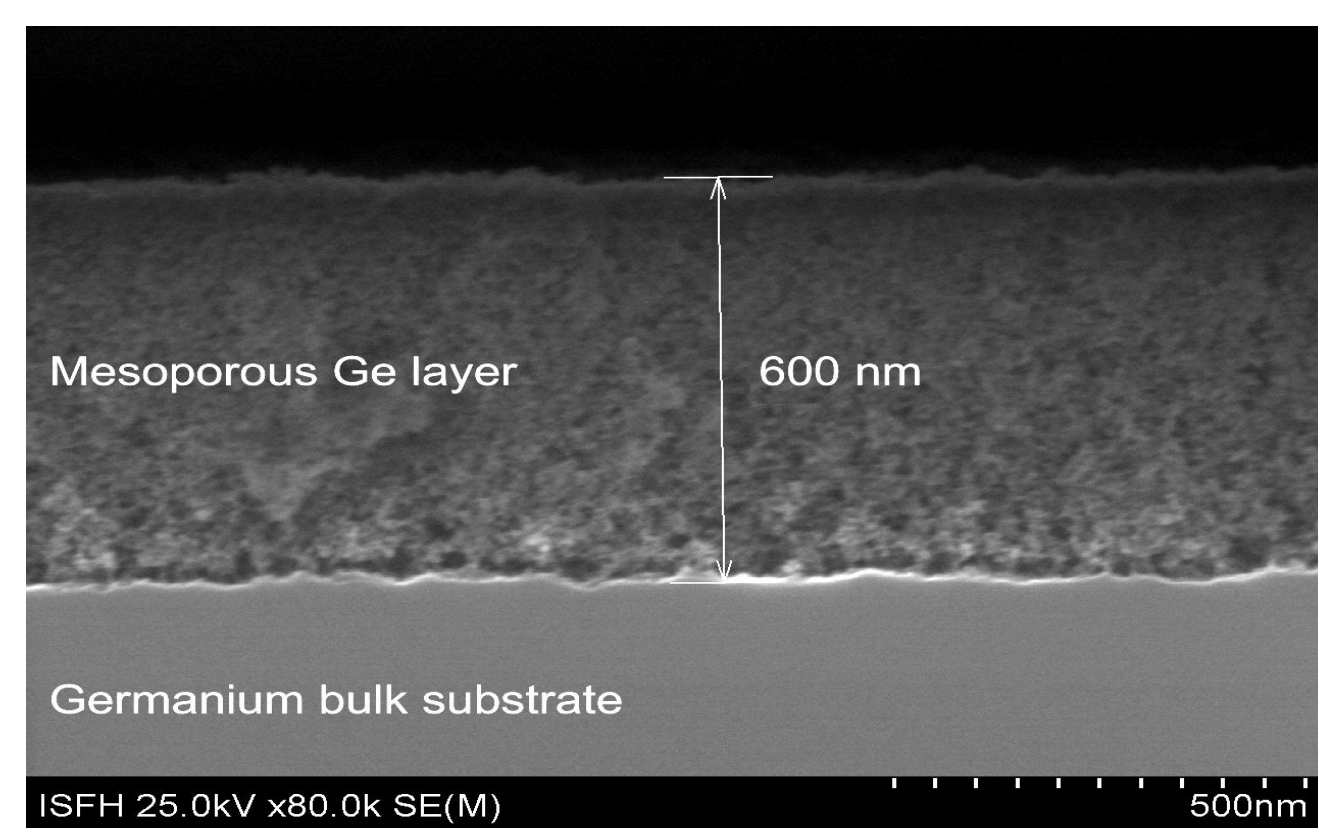
Tento příspěvek vychází z mé diplomové práce se stejným názvem, jako je název tohoto příspěvku. Avšak zatímco těžištěm mé diplomové práce byla tvorba a implementace ovladače krystalového monitoru do vývojového prostředí Control web a následná realizace jádra řídicího systému, v tomto příspěvku je již řídicí systém kompletní a je schopen plnohodnotně ovládat celou technologii napařování (vodní hospodářství, vakuové hospodářství, doutnavý výboj atd.). Tento příspěvek se zabývá právě testováním vytvořeného systému s ohledem na to aby bylo žádaných parametrů při depozici tenkých vrstev dosaženo co nejpřesněji.

## VSTUP DO PROBLEMATIKY

Nanášení tenkých vrstev je jednou z důležitých součástí procesu výroby většiny optických prvků. Nároky kladené na kvalitu těchto vrstev jsou zvláště v optickém průmyslu velmi vysoké. To je důvod proč je třeba řídit depoziční parametry velmi přesně.

Jedním z hlavních parametrů, který ovlivňuje kvalitu vrstvy nejvíce, je teplota substrátu. Nedodržení této teploty v předepsaných mezích může být zhoršena homogenita vrstvy, její přilnavost k povrchu a její chemické složení.

Dalším z poměrně důležitých parametrů při depozici tenké vrstvy je rychlost jejího nanášení (rychlost růstu vrstvy). Je-li tato rychlost příliš vysoká může opět docházet k nehomogenitám či vakancím v rostoucí vrstvě. Je-li rychlost růstu vrstvy naopak příliš nízká může docházet ke krystalizaci vrstvy (s tím souvisí následně mechanické namáhání) a navíc bude proces nanášení příliš pomalý čímž se prodlouží.



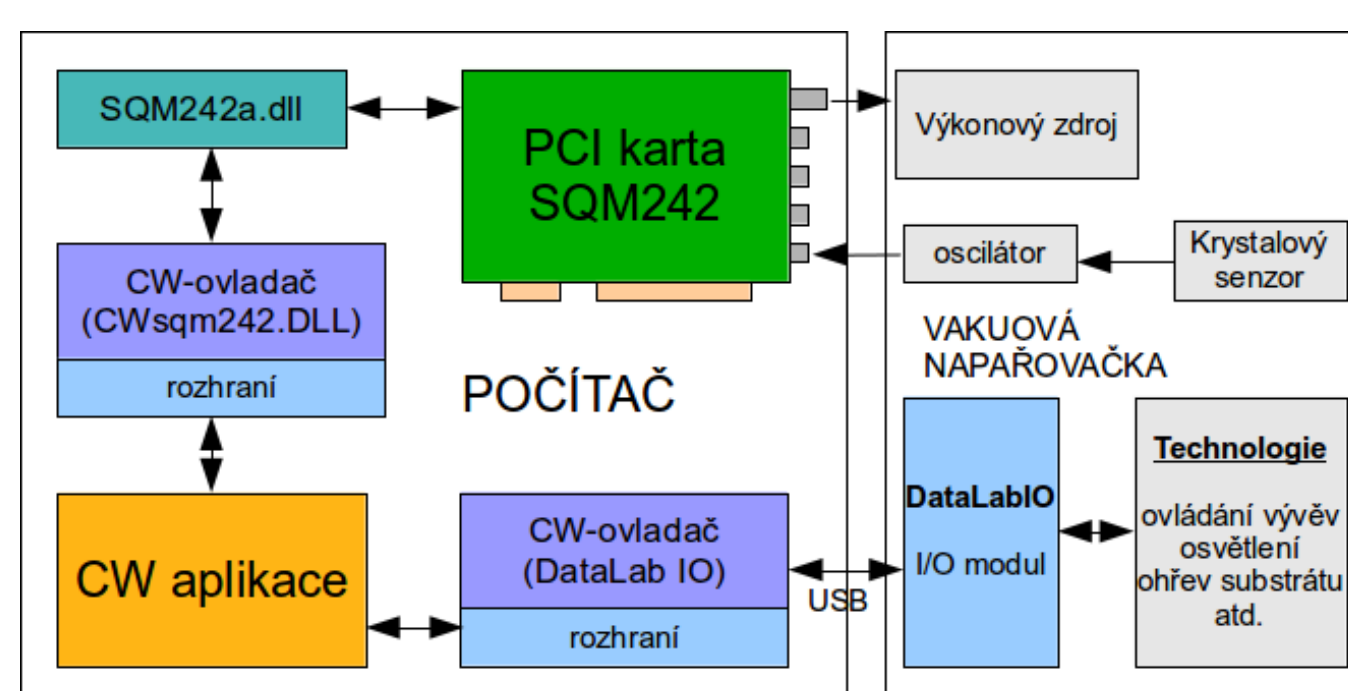
Obr. 1: Tenká vrstva v řezu

Z výše uvedených důvodů je zřejmé, že dosažení co nejmenších odchylek v žádaných hodnotách parametrů má na kvalitu tenkých vrstev zásadní vliv. Problémem řízení těchto parametrů (především teploty) se budu v následujícím textu zabývat.

## METODIKA

Jak bylo výše zmíněno, zařízení, které je potřeba ovládat, je vakuová napařovačka. Řídicí systém byl vytvořen ve vývojovém prostředí Control Web a pracuje na bázi softwarového PLC. Komunikaci mezi systémem a napařovačkou obstarávají dva vstupně-výstupní moduly DataLabIO. Práce uživatele se systémem probíhá pomocí GUI. Jde v podstatě o běžnou okenní aplikaci rozdělenou záložkami do jakýchkoli tematických okruhů (servis, databáze, model technologie atd.).

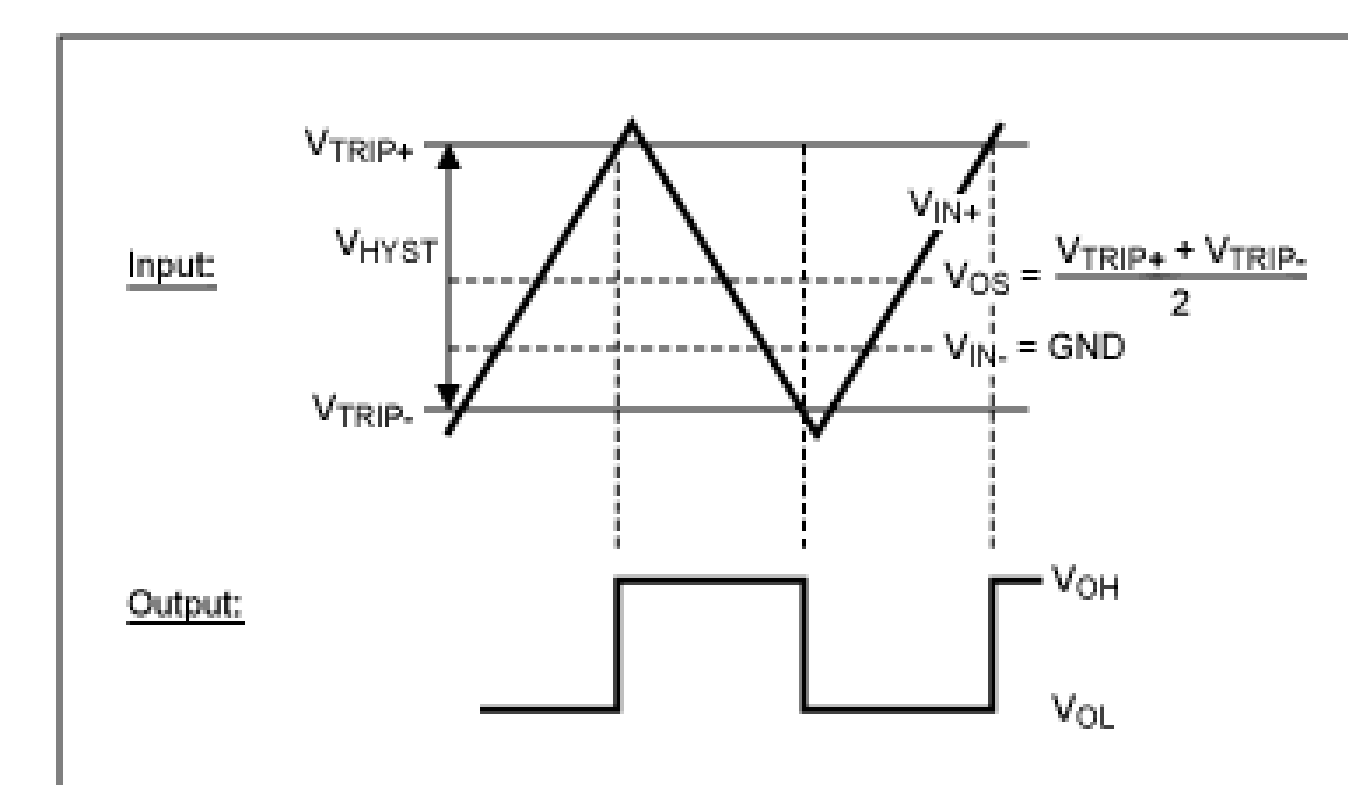
Jádrum řídicí aplikace je jakýsi stavový automat, který zpracovává položky tzv. receptu (databáze, ve které jsou uvedeny žádané parametry pro každou vrstvu, která se bude napařovat). A právě co nejpřesnější dodržení parametrů uvedených v receptu, je pro správnou funkci tenké vrstvy zásadní. Blokové schéma (Obr. 2).



Obr. 2: Blokové schéma řízení napařovačky

Co se týká řízení teploty substrátu jsme v našem konkrétním případě omezeni možnostmi akčního členu. Akčním členem je výkonná halogenová lampa, kterou je možné řídit pouze hysterezním regulátorem.

Hystereze regulátoru nám určuje rozkmit regulované veličiny. Čím menší hystereze tím menší rozkmit a tím přesnější nastavení teploty, na druhou stranu tím vyšší frekvence spínání akčního členu. Je tedy nutné nalézt kompromis který bude zohledňovat jak životnost akčního členu tak rozkmit a přesnost regulované veličiny.



Obr. 3: Příklad hysterezního řízení

Co se týká řízení rychlosti depozice je situace odlišná. Rychlost napařování je snímána pomocí krystalového senzoru, frekvence kmitání tohoto senzoru je měřena speciální měřicí PCI kartou SQM 242. Z poklesu frekvence v čase již můžeme zjistit rychlost napařování vrstvy. Regulace rychlosti probíhá opět pomocí karty SQM242. Obsahuje sadu nastavitelných PSD regulátorů, které se snaží dosáhnout žádané hodnoty rychlosti napařování.

Ke správné funkci této regulační smyčky je samozřejmě nutné soustavu identifikovat a regulatory optimálně nastavit.

## VÝSLEDKY

Vytvořený řídicí systém vakuové napařovačky prošel dvěma jednoduchými testy. První z nich měl otestovat zda je možné považovat regulaci teploty za uspokojivou, či zda se v problematice řízení teploty vyskytují nějaké další jevy, se kterými je nutné počítat. Druhý test měl za cíl ověřit kvalitu regulace rychlosti napařování tenké vrstvy řízené kartou SQM242.

### 1. Test – teplota

Pro potřeby tohoto testu byl sestaven jednoduchý recept (Tab. 1). Poté je spuštěn depoziční proces, který má za úkol se tímto receptem řídit.

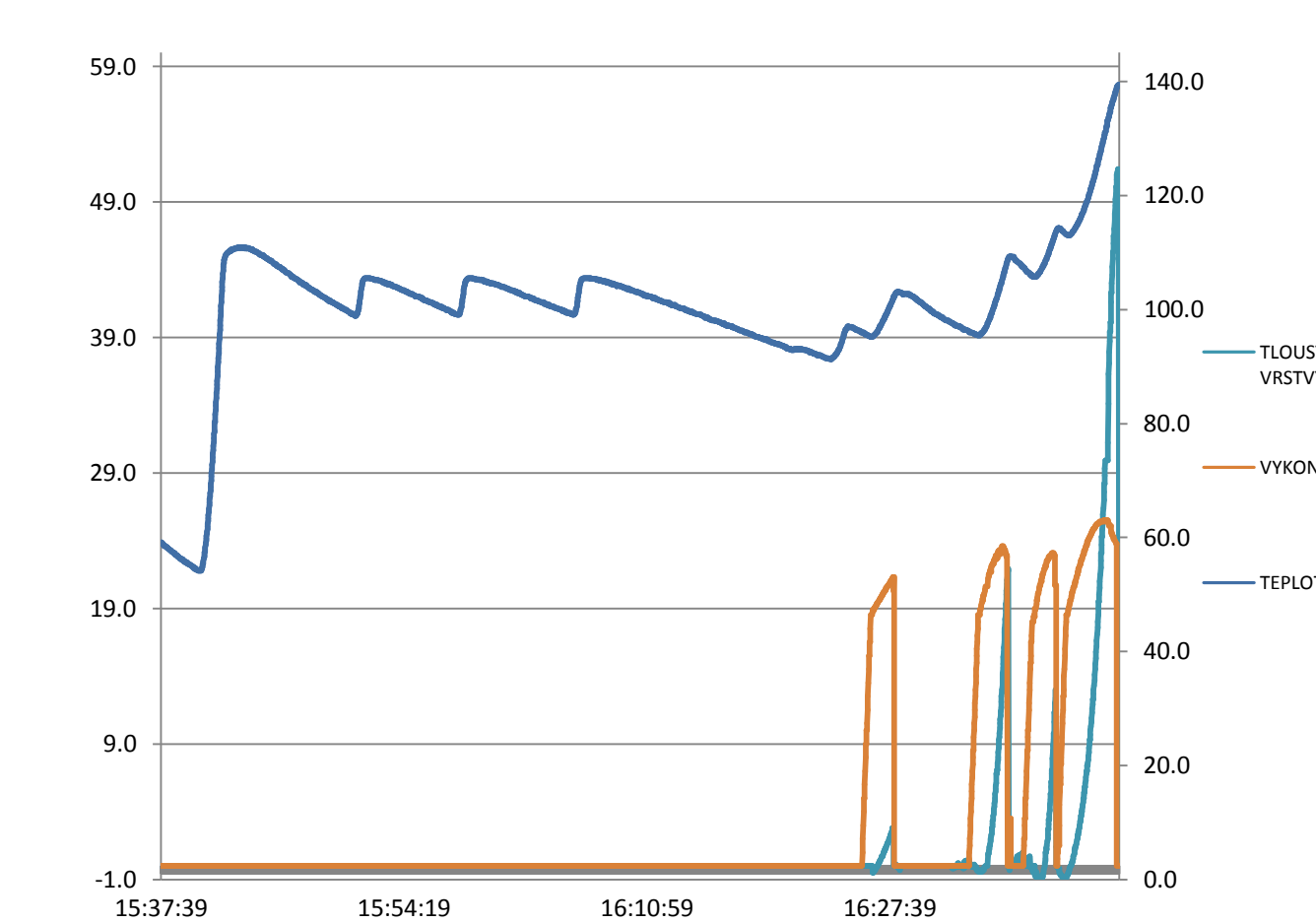
Míra úspěšnosti tohoto testu je dána mírou shody žádaných hodnot v receptu a reálně naměřených hodnot (Graf. 1).

Tab. 1: Sestavený testovací recept 1

Pořadí vrstev	Teplota substrátu [°C]	Tloušťka vrstvy [nm]
1.	95	4
2.	100	20
3.	100	15
4.	110	50

Z grafu je patrné nežádoucí navýšení teploty v průběhu depozice. Tento jev bude blíže diskutován v závěru.

Graf 1: Test systému – teplota



### 2. Test – rychlost napařování

Žádané hodnoty technologických parametrů (rychlost napařování, tloušťka vrstvy) jsou obsahem jednopoložkového testovacího receptu (Tab. 2).

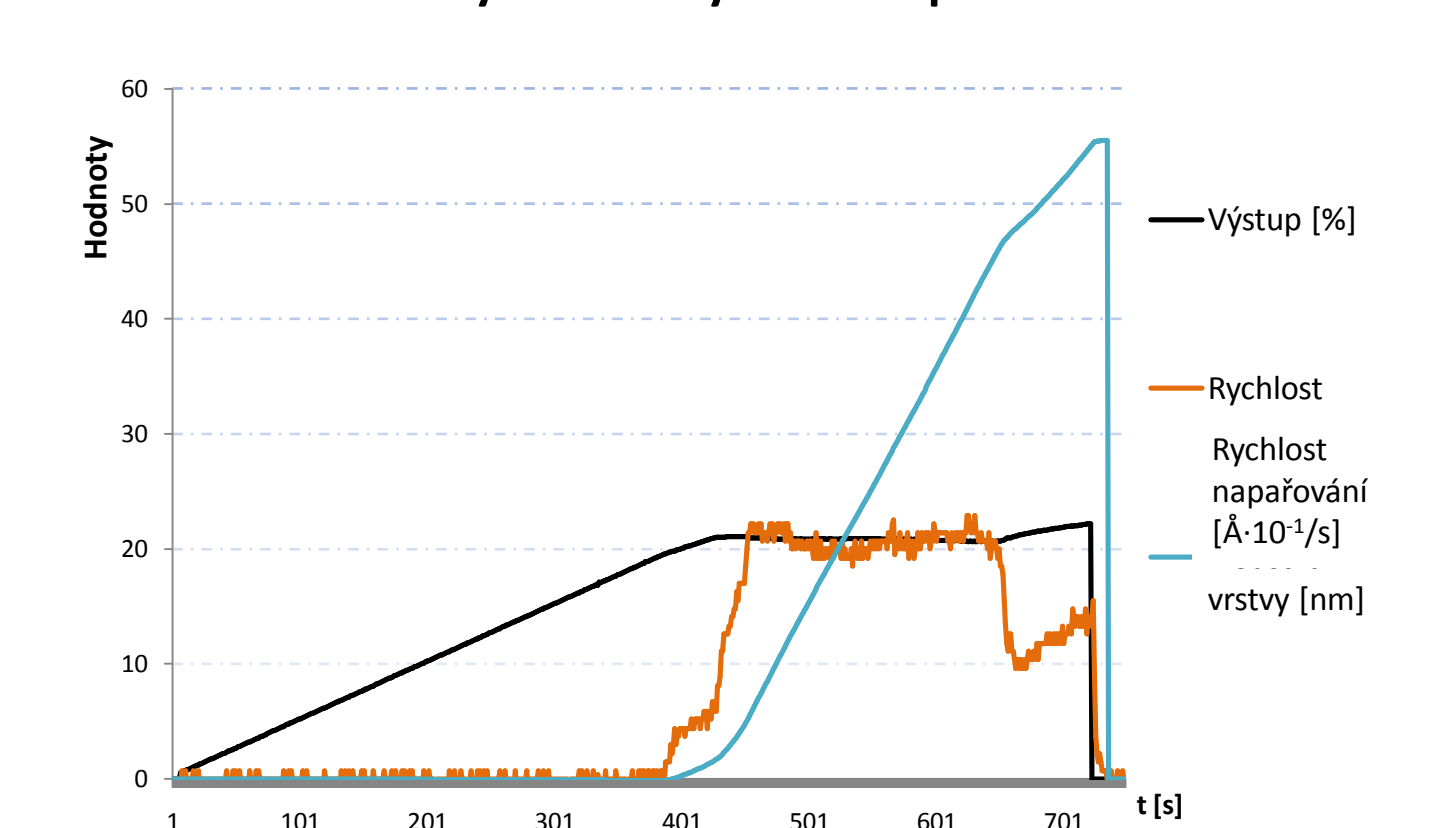
Tab. 2: Sestavený testovací recept 2

Materiál	Rychlost napařování [Å·10^-1/sec]	Tloušťka vrstvy [nm]
SiO <sub>2</sub>	20	55

Systém má za úkol tyto hodnoty zpracovat a následně dle nich řídit napařovací proces (na základě měřených hodnot z krystalového senzoru řídit výkonový zdroj, potažmo rychlost napařování).

Úspěšnost testu závisí stejně jako v předchozím případě na míře shody receptu a naměřených časových závislostí (Graf. 2). Zde navíc hraje roli i kvalita regulace. Především tedy to, zda systém reguluje rychlost napařování uspokojivě, a zda je pracovní cyklus ukončen skutečně ve chvíli, kdy dosáhne tloušťka vrstvy požadovaných hodnot.

Graf 2: Test systému – rychlost napařování



## DISKUSE, ZÁVĚRY

Z předchozí kapitoly je patrné, že test č. 2 proběhl velice úspěšně. Karta SQM242 regulovala rychlost depozice uspokojivě a k ukončení napařování došlo v ten správný okamžik.

Co se však týká prvního testu potvrdil se předem očekávaný jev a to konkrétně rapidní nárůst teploty při samotném napařování. Tento nárůst je způsoben kondenzací vypařovaného materiálu na substrátu, tím dochází k ohřevu substrátu. Tento problém je již vyřešen a to pouhým pozastavením depozičního procesu po dobu potřebnou k poklesu teploty zpět do akceptovatelných mezí.

V průběhu testování se však objevil mnohem výraznější problém. Ukázalo se, že termočlánek využívaný v současné době k měření teploty ve vakuové komoře je nevyhovující. Skutečná hodnota teploty tedy není zcela jasná. Z toho důvodu se další práce zaměří na simulaci a modelování teplotního rozložení ve vakuové komoře v průběhu depozičního procesu. Do budoucna se také zvažuje využití in-situ měření teplotního rozložení pomocí termokamery.

## REFERENCE

- [1] MINTON, P. E. *Handbook of Evaporation Technology* [online]. New jersey : Noyes Publications, 1986 [cit. 2011-05-21]. Dostupné z WWW: <[http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?\\_EXT\\_KNOVEL\\_DISPLAY\\_bookid=264](http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=264)>. ISBN 978-0-8155-1097-0.
- [2] Vysoké učení technické v Brně [online]. Marek Strakoš. c2011 [cit. 2011-02-7]. Prof. RNDr. Vladimír Čech, Ph.D. - Výuka - VUT v Brně. Dostupné z WWW: <<http://www.vutbr.cz/studium/ects-katalog/detail-predmetu?apid=95845>>. Lefebvre, A.W.,
- [3] *Moravské přístroje a.s.* [online]. 2003, Aktualizováno: 24.2.2011 [cit. 2011-01-21].

## KONTAKT

David Vápenka, student 1. ročníku Doktorského studia, Email: Dejfa@seznam.cz