



Vysoká škola chemicko-technologická  
Fakulta chemicko-inženýrská  
Ústav fyziky a měřicí techniky

## **Studentská vědecká konference**

sekce Fyzika a měřicí technika  
sborník příspěvků

25. 11. 2011



# SVK 2011 – Fyzika a měřicí technika

## Komise:

doc. Ing. Jaroslav Hofmann, CSc. - předseda

Mgr. Dr. Jana Jirešová

Ing. Ladislav Fišer, Ph.D.

## Program:

8.00	<b>Eva Kvasničková</b> (V. Scholtz) Mezinárodní spolupráce VŠCHT a Universita di Bologna v oblasti netermálního plazmatu	4
8.20	<b>Lucie Kommová</b> (V. Scholtz) Regulace vlhkosti v atmosféře výboje	7
8.40	<b>Soňa Kotúčová</b> (V. Scholtz) Energetická zásoba ATP v mikroorganismech a korelace přežití v "mrtvé vodě"	11
9.00	<b>Kateřina Rusová</b> (M. Čeřovský) Aplikace korónového výboje při dekontaminaci plastových obalů v potravinářství	14
9.20	<b>Barbora Štěpánková</b> (V. Scholtz) Nové módy korónového výboje	17
9.40	<b>přestávka</b>	
10.00	<b>Jiří Mikeš</b> (D. Kopecký) Využití technologie Ink-Jet pro přípravu substrátů senzorů	21
10.20	<b>Lukáš Lattenberk</b> (A. Korbářová) Měření rozměrů částic práškových materiálů pro přípravu pelistorů obrazovou analýzou	25
10.40	<b>Martina Živčáková</b> (A. Korbářová) Chipsy ako ich nepoznáme	29
11.00	<b>Viktorija Baškatová</b> (J. Khun) Přežívání korýšů <i>Artemia salina</i> při expozici korónovému výboji	32
11.20	<b>Závěr</b>	

## Mezinárodní spolupráce VŠCHT a Università di Bologna v oblasti netermálního plazmatu

Bc. Eva Kvasničková

Školitel: Ing. Vladimír Scholtz, Ph.D.

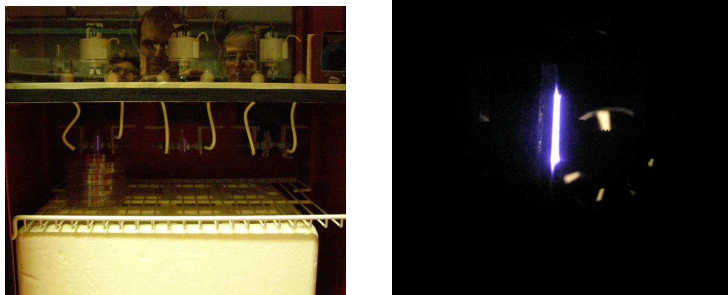
Na konferenci NATO ARW - Plasma for bio-decontamination, medicine and food security na Slovensku byla navázána spolupráce mezi mikrobiologickou laboratoří boloňské univerzity, využívající plazma především pro dekontaminaci povrchu vajec, a týmem z Vysoké školy chemicko-technologické v Praze, zabývajícím se mikrobicidními účinky netermálního plazmatu. Při expedici do laboratoří boloňské univerzity jsme použili jejich bariérového výboje k expozici námi běžně využívaných mikroorganismů, konkrétně bakterií *Escherischia coli*, *Staphylococcus epidermidis*, kvasinky *Candida albicans* a spor plísní *Asperigillus oryzae*, *Byssochlamys nivea* a *Cladosporium sphaerospermum* jak ve vodní suspenzi, tak na pevném médiu. Dále jsme produkovali tzv. „mrtvou vodu“. Jelikož v naší laboratoři používáme výboj korónový, je toto porovnání vůbec první studií, zabývajícím se mikrobicidními účinky dvou různých výbojů na stejnou matici. Ze získaných výsledků byla vypracována komparativní studie, která bude prezentována na této konferenci.

Bariérový výboj může být buď dielektrický, který je tvořen dvěma vodivými elektrodami, pokrytými vrstvou dielektrických materiálů, jako je například oxid hlinitý nebo odporový, ve kterém jedna nebo obě elektrody jsou pokryté vysoce odporovým materiálem (například mosazí), zabraňujícím vzniku elektrického oblouku. V laboratoři v italské Ceseně byl použit dielektrický bariérový výboj s napětím na elektrodách 15kV.

Pro porovnání účinků těchto dvou různých výbojů byly použity v obou případech stejné mikroorganismy. Konkrétně bakterie *Escherischia coli*, *Staphylococcus epidermidis*, kvasinky *Candida albicans* a spor plísní *Asperigillus oryzae*, *Byssochlamys nivea* a *Cladosporium sphaerospermum* jak ve vodní suspenzi, tak na pevném médiu. Dále jsme produkovali tzv. „mrtvou vodu“.

Korónový výboj se vytváří mezi dvěma elektrodami, z nichž alespoň jedna má malý poloměr křivosti. Existují dva typy korónového výboje. Unipolární, jenž vzniká mezi jednou elektrodou s poloměrem křivosti a plochým vodivým materiálem. Toto uspořádání je typu point-to-plane

(hrot proti rovinně). Bipolární je tvořen dvěma elektrodami, které mají obě malý poloměr křivosti a nazývá se point-to-point (hrot proti hrotu). V laboratoři využíváme různé typy korónového výboje, produkovaného zdrojem s intervalem napětí 0 – 10kV a proudu 0 – 500  $\mu$ A.



Obr. 1.: Na levém obrázku vidíme celou aparaturu dielektrického bariérového výboje používaného Universitou di Bologna, na obrázku vpravo je výboj hořící mezi dvěma elektrodami.



Obr. 2.: Uspořádání point-to-plane, kladná koróna vlevo a záporná koróna vpravo.

V laboratoři 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze, na Ústavu imunologie a mikrobiologie, využívané plazmatickým týmem VŠCHT jsme exponovali suspenze bakterií a kvasinky *Candida albicans* korónovým výbojem, přičemž účinnější se jevila kladná koróna. Při napětí v intervalu 6 – 8 kV a proud 180 – 350  $\mu$ A u bakterií došlo ke sterilizaci suspenze po 30 sekundách, u kvasinky po 6 minutách. Dielektrický bariérový výboj způsobil sterilizaci suspenze bakterií po 8 minutách, pro kvasinku byly výsledky bohužel neměřitelné.

Při expozici bakterií a kvasinky na pevném povrchu, s počáteční koncentrací řádově  $10^6$  cfu/cm<sup>2</sup>, byla plocha inhibiční zóny pro bakterie okolo 50 cm<sup>2</sup>, při vzdálenosti elektrod od povrchu 2 mm a expoziční době

16 min. Pro kvasinku byla při stejných podmínkách plocha inhibiční zóny 40 cm<sup>2</sup>. U dielektrického bariérového výboje při stejné koncentraci inokula, byl pokles koncentrace ve všech použitých vzdálenostech (43,59,75 mm) na řádově stovky cfu/cm<sup>2</sup> po 5 minutách a desítky cfu/cm<sup>2</sup> po 30 minutách expozice.

U plísni exponovaných v suspenzi, v uspořádání kladné i záporné point-to-plane, nebyl vliv uspořádání nikterak významný. V tomto experimentu bylo zjištěno, že po deseti minutách dochází pouze k mírnému úbytku, zatímco po dvaceti minutách a déle docházelo až k úplné dekontaminaci příslušné suspenze. V porovnání s dielektrickým výbojem University di Bologna, kde nedocházelo k významnějším poklesu ani po 60 minutách.

Naproti tomu při expozici plísni na pevném povrchu byl kladný korónový výboj schopen vytvořit pouze malou, v podstatě neměřitelnou inhibiční zónu a dielektrický bariérový výboj snížil například u *C. sphaerospermum* původní koncentraci 3,8 · 10<sup>5</sup> cfu/ml na 80 cfu/ml již po 30 minutách.

Při produkci 10 ml „mrtvé“ vody pomocí korónového výboje klesla koncentrace *E.coli* z původních 2 · 10<sup>6</sup> cfu/56 cm<sup>2</sup> po 1 hodině na 4 · 10<sup>2</sup> cfu/56 cm<sup>2</sup> po 24 hodinách je roztok téměř sterilní. Pro nižší objemy exponované „mrtvé“ vody došlo k usmrcení bakterií již po 1 hodině působení. Zatímco u dielektrického bariérového výboje bylo exponováno 25 ml a původní koncentrace 1 · 10<sup>6</sup> cfu/56 cm<sup>2</sup> klesla na 30 000 cfu/56 cm<sup>2</sup> po 1 hodině a po 24 hodinách byla zcela sterilní. Značný rozdíl byl též v poklesu pH „mrtvé“ vody. U korónového výboje klesá pH 10 ml na 3,8 po 8 minutách expozice, zatímco u bariérového výboje klesá pH 25 ml na stejnou hodnotu již po 5 minutách.

Závěrem lze v podstatě říct, že korónový výboj je účinnější při expozici suspenzí bakterií, kvasinky i plísni, zatímco bariérový výboj je více účinný v plošné inhibici.

# Regulace vlhkosti v atmosféře výboje

Bc. Lucie Kommová

Školitel: Ing. Vladimír Scholtz, Ph.D.

## 1 Úvod

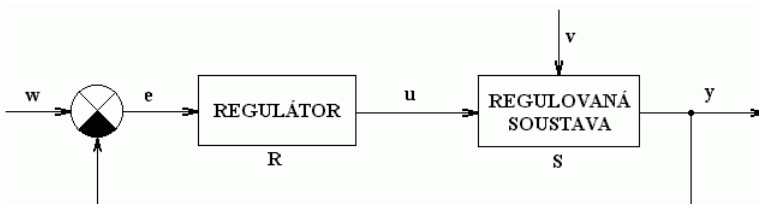
Cílem tohoto projektu je navrhnout a sestavit aparaturu pro regulaci vlhkosti v atmosféře korónového výboje. Konstrukce této aparatury, ve které budeme schopni regulovat vlhkost, by nám měla pomoci objasnit, vliv vlhkosti na charakter výboje.

Práce by se dala rozdělit na dvě části, a to část teoretickou, kdy je třeba se se vším seznámit a praktickou, která se týká samotné konstrukce. Na teoretických základech je pak navržena aparatura, která není příliš nákladná a je jednoduchá na ovládání, tak aby s ní byl schopen pracovat kdokoliv. Část praktická se skládá především ze samotné konstrukce aparatury, prvotních pokusů a vyhodnocení přechodových charakteristik a následného návrhu konstant regulátoru a jejich optimalizace.

## 2 Teoretická část

### 2.1 Úvod do problematiky regulace

Regulátory je možno rozdělovat podle různých hledisek, například podle typu zapojení na spojité a diskrétní, tedy PID a PSD regulátory, avšak termín PSD se příliš nepoužívá. Na obr.1 je blokové schéma jednoduchého regulačního obvodu, ten se skládá z regulátoru a regulované soustavy označených jako  $R$  a  $S$ . Pokud pohlížíme na schéma zleva, tak  $w$  je řídicí veličina,  $e$  je regulační odchylka,  $u$  je akční zásah regulátoru,  $v$  je porucha vstupující do regulované soustavy a  $y$  je výstupní veličina.



Obr. 1: Schéma regulačního obvodu.

## 2.2 Úvod do měření vlhkosti

Jestliže chceme regulovat vlhkost, musíme i nějakým způsobem zajistit její měření. Relativní vlhkost udává poměr mezi okamžitým množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím par, které by měl vzduch při plném nasycení o stejném tlaku a teplotě. Udává se v procentech. Použitý senzor vlhkosti je HIH-4030 od firmy Honeywell, čidlo relativní vlhkosti. Je to kapacitní senzor vlhkosti, se zabudovaným převodníkem na napětí, které se mění prakticky lineárně v závislosti na relativní vlhkosti.

## 3 Praktická část

### 3.1 Konstrukce aparatury

Stěžejním prvkem aparatury je deska Arduino Duemilanove s mikroprocesorem. Pomocí vstupů a výstupů desky jsou čteny nebo řízeny ostatní komponenty. Aparatura se skládá z měřící cely a vnější komůrky, kde je umístěn senzor vlhkosti. Vlhkost se nastavuje pomocí servomotorů, které natáčením škrtní hadičku a tím regulují průtok vzduchu. Směs suchého a vlhkého vzduchu je přiváděna shora do cely. Zdrojem vzduchu je kompresor. Vlhký vzduch teda zajistíme probubláváním přes promývací nádobu s vodou. Prozatím jsme považovali za suchý vzduch, vzduch z kompresoru. Žádaná vlhkost je nastavována potenciometrem a LED dioda signalizuje dosažení námi zvolené vlhkosti.

### 3.2. Přechodové charakteristiky soustavy a jejich vyhodnocení

Skokovou změnu jsme měřili pomocí senzoru vlhkosti, signál byl přes Arduino převáděn do počítače. Obě přechodové charakteristiky jako soustavy se zpožděním 1. řádu. Přenos soustavy má pak tvar rovnice 1, kde  $k$  je zesílení soustavy a  $T$  je časová konstanta soustavy. Pro zesílení soustavy platí, že je to podíl výstupní hodnoty v nekonečnu a vstupní hodnoty také v nekonečnu. Časovou konstantu odečítáme z osy  $x$  pro

$$T = 0,632 \cdot y_{\infty}$$

hodnoty na ose  $y$  rovnou 0, 632, to vychází ze vztahu:

$$F(p) = \frac{k}{Tp + 1}$$

Testovacím signálem je v našem případě jednotkový skok. Pomocí jednotkového skoku, otestujeme, jak moc se shoduje identifikovaná soustava s reálnou soustavou.



### 3.3 Návrh konstanty regulátoru

Konstanty byly navrhnuty pomocí geometrického místa kořenů. Takto navržené konstanty představovaly poměrně dobrý prvotní nástřel, nic méně byly upraveny metodou pokus-omyl.

### 4 Výsledky a diskuze

Pro změnu z vlhkého vzduchu na suchý a suchého na vlhký jsme dostali tyto dvě soustavy.

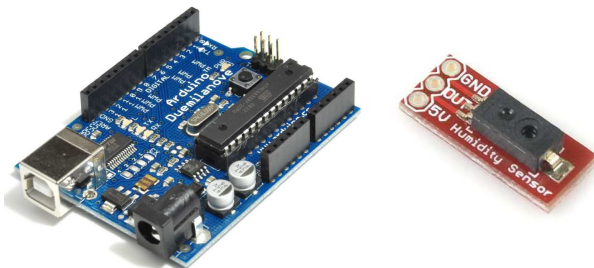
$$F_1 = \frac{0,67}{11,8p + 1}; F_2 = \frac{0,69}{10,16p + 1}$$

Protože se tyto soustavy podstatně neliší, byl regulátor navržen jako pro jednu soustavu a na servomotory, tak působí stejný akční zásah upraven pouze rozsahem natočení. Otestovali jsme P i PI regulátor a podle průběhu regulačního děje se přikláníme k jednodušší regulaci s proporcionální složkou.

$$u(k) = r_0[e(k)] = 0.02[e(k)]$$

### 5 Závěr

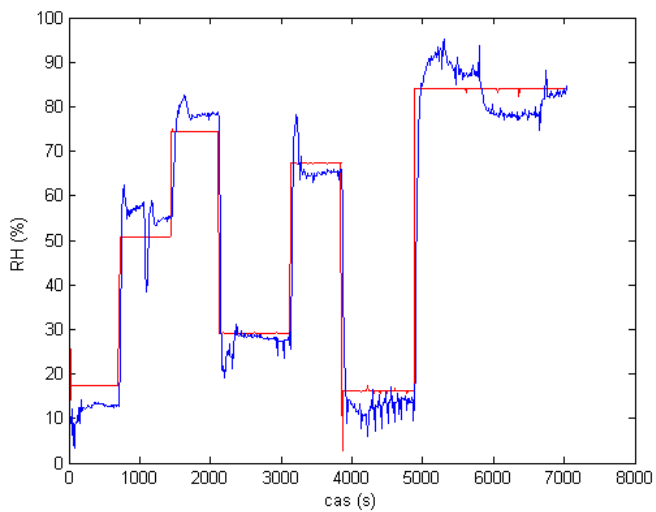
Aparatura pro regulaci vlhkosti byla sestavena a byly provedeny základní pokusy potřebné k vyhodnocení chování měřící cely. Použití servomotorů a mikroprocesoru místo regulačního ventilu je dáno především finanční stránkou. Nicméně, je tato varianta pro naše účely naprosto dostačující. Naměřené přechodové charakteristiky byly vyhodnoceny pomocí softwaru Matlab, ve kterém proběhl i prvotní nástřel konstant regulátoru.



Obr. 2: Arduino duemilanove a napěťový senzor vlhkosti.



Obr. 3: Servomotory škrtkící hadičky a celkový pohled na aparaturu.



Obr. 4: Regulační pochod P-regulátoru.

## **Energetická zásoba ATP v mikroorganismech a korelace přežití v "mrtvé vodě"**

Soňa Kotúčová

Školitel: Ing. Vladimír Scholtz, Ph.D.

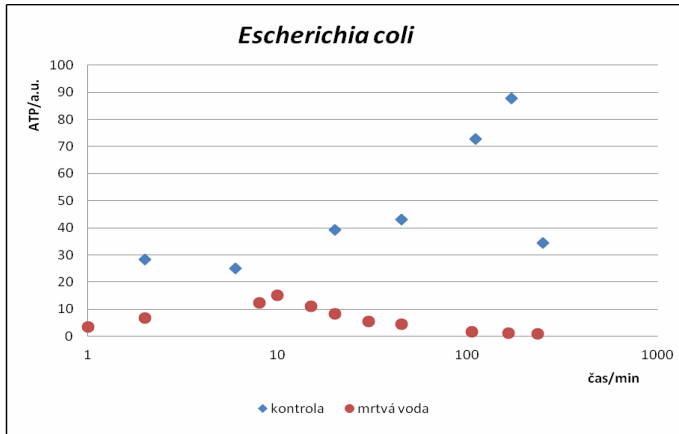
Základní charakteristikou živého organismu je soubor chemických reakcí v něm probíhajících, které souhrnně nazýváme látková přeměna neboli metabolismus. Zahrnuje pestré přeměny všech látek, které do organismu vstoupily, ale i neustálou obměnu látek, které se v něm vytvořily. Metabolismus plní dva základní úkoly – zajištění energie a stavebního materiálu a výrobu složek organismů. Tyto úkoly plní v organismu dva typy procesů: katabolické, spojené s přijímáním energie a stavebního materiálu spolu s úpravou pro potřeby organismu a anabolické, vedoucí ke vzniku nových, chemicky složitějších látek, které tvoří součást organismu. Základní strategie energetické a látkové přeměny je výroba ATP, redukční síly NADPH a stavebních jednotek a využívání těchto produktů pro biosynthesy. Energie vzniklá katabolickými procesy však nemusí být ihned spotřebována, proto si organismus vyvinul molekulu, která je schopna energii ukládat a přenášet na místo spotřeby. Hovoříme zde o adenosintrifosfátu neboli ATP sestávající z purinové báze, cukru ribózy a zbytku kyseliny trifosforečné s dvěma fosfoanhydridovými vazbami. Význam ATP je obrovský zejména pro jeho návaznost na všechny metabolické dráhy, jako je glykolýza, citrátový cyklus, dýchací řetězec,  $\beta$ -oxidace a jiné. Mikroorganismy správně metabolizují jen v takovém prostředí, které obsahuje pro ně vhodné zdroje uhlíku, dusíku, kyslíku, minerální látky stopové prvky, biotika, zdroje energie a vodu a ovšem za jeho fyziologických podmínek. Pokud dojde k narušení některého z vnějších parametrů, jako je zvýšení tlaku, teploty, pH či snížená koncentrace živin, metabolismus je automaticky narušen a dochází k usmrcení buňky způsobené buď narušením cytoplazmatické membrány, denaturace bílkovin a z ní plynoucí inaktivace enzymů, či jiných příčin. Jedním z nejdůležitějších činitelů ovlivňujících růst mikroorganismů v živném prostředí je koncentrace vodíkových iontů – pH. Vliv pH souvisí především se vstupem živin do buňky. Při různé koncentraci vodíkových iontů se může měnit elektrický náboj fosfolipidů a proteinů tvořících semipermeabilní plazmatickou membránu. Taková změna způsobuje změnu v propustnosti plazmatické membrány pro jednotlivé ionty. Vnější pH ovlivňuje také

regulační procesy metabolismu a vede ke změně poměru jeho hlavních produktů. Důvodem, proč nás zajímá vliv pH na buňky je, že je možnou příčinou mikrobicidních účinků „mrtvé vody“, kterou se v téhle práci zabývám.

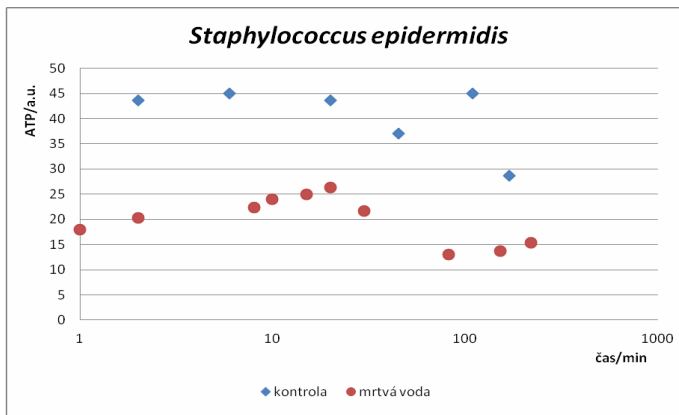
„Mrtvá voda“ vzniká expozicí vody korónovému výboji. Korónový výboj je zvláštní typ elektrického výboje hořící jenom v malé oblasti korónující elektrody kde dochází k ionizaci plynu a generaci nízkoteplotního plazmatu. Podle definice je plazma kvazineutrální plyn nabitých a neutrálních částic, který vykazuje kolektivní chování. Plazma je tedy plyn obsahující kromě neutrálních částic i částice nabité, tj. ionty a elektrony. K ionizaci, tj. k odtržení elektronu z neutrálního atomu může dojít pouze v případě, že je elektronu udělena dostatečná energie. Tu může elektron získat jako energii tepelnou, přičemž mají elektrony i ionty stejně vysokou teplotu a jedná se tedy o termální plazma. Ionizaci může způsobit i jiný mechanismus, kdy se potřebná ionizační energie dodává převážně elektronům a tudíž je teplota elektronů vyšší než teplota iontů. Toto plazma nazýváme nízkotermální nebo netermální. Ke generaci nízkoteplotního plazmatu se nejčastěji používá elektrických výbojů v plynech. Elektrický výboj může mít jak kladný, tak záporný náboj. V mé práci se zabývám mikrobicidními účinky vody, která je exponována kladnému i zápornému výboji. Pracovně jsme si ji nazvali „mrtvá voda“ pro svoje cidní účinky, no mechanismus působení na mikroorganismy ještě není zcela objasněn. Při expozici dochází k výraznému poklesu pH vody, z neutrálních 7 na 2 po hodinové expozici kladnému výboji. Ve vodě také vzniká kyselina dusičná přispívající k poklesu pH, ozón, volné radikály, atomární kyslík a jiné, které hrají významnou roli při hubení mikroorganismů, jak jsme si popsali dříve.

V téhle práci navazuji na předchozí měření, kdy jsme mikrobicidní účinky vody sledovali přímo pomocí počtu narostlých kolonií na Petriho misce po inkubaci bakterií v „mrtvé vodě“. Novou metodou je pro nás monitorování poklesu ATP v bakteriích v závislosti na délce pobytu v mrtvé vodě.

Z naměřených hodnot je vidět rozdílnou reakci mikroorganismů na „mrtvou vodu“ jako i pokles ATP po pobytu v „mrtvé vodě“ v důsledku úhynu organismů. Ke kontrole jsme použili bakterie v exponenciální fázi růstu, proto je hezky vidět exponenciální nárůst ATP. Oba použité mikroorganismy po cca 10 minutách v mrtvé vodě podléhají jejím mikrobicidním účinkům.



Obr. 1.: Závislost množství ATP v bakterii *Escherichia coli* na době pobytu v mrtvé vodě.



Obr. 2.: Závislost množství ATP v bakterii *Staphylococcus epidermidis* na době pobytu v mrtvé vodě.

# **Aplikace korónového výboje při dekontaminaci plastových obalů v potravinářství**

Bc. Kateřina Rusová

Školitel: Dr. Ing. Miroslav Čerovský

## **Úvod**

Plísňové kontaminace bývají v potravinářství velkým problémem. Příčinou je jejich praktická všudypřítomnost a značná odolnost plísňových spor. Hlavní zdroj sekundární kontaminace plísněmi je balení. Okruh případných preventivních opatření je omezen přísnými požadavky z hlediska bezpečnosti potravin, popř. vlastnostmi potravin. Jednou z možností je použití aerosolu peroxidu vodíku. Pro dosažení dostatečného účinku samotného aerosolu peroxidu vodíku je třeba použít vysoké koncentrace pracovního roztoku a dlouhé doby expozice. Žádoucího zvýšení účinnosti by mohlo být dosaženo současným působením aerosolu peroxidu vodíku a nízkoteplotního plazmatu.

Plazma, jak vyplývá z různých studií, má samo antimikrobiální účinky. Avšak většina dosavadních studií se zabývala vlivem plazmatu na bakterie, nikoliv vlivem na plísně. Dekontaminační účinky plazmatu se projevují i při relativně nízkých teplotách, při kterých nedochází k poškození potravin a materiálů. Částice plazmatu nepronikají hluboko do materiálů a mají relativně krátkou dobu rozpadu. Z tohoto hlediska se jeví bezpečně pro konzumenta, protože v potravině v době konzumace již nebudou přítomny. Krátká doba rozpadu je zároveň i nevýhodou. Částice mají krátkou vzdálenost doletu, tedy i působení, což komplikuje použití na větší objekty.

## **Cíl**

Cílem práce je vyvinout účinnou automatickou aplikaci ke kontinuální povrchové sterilaci 3D objektů, která by zároveň byla šetrná k materiálům a bezpečná pro spotřebitele.

## **Metodika**

K testování byly použity kultury plísňových kmenů izolované z potravin. Kultivace byla prováděna na komerční půdě GKCH. Pro vytváření nízkoteplotního plazmatu byl použit koronový výboj vygenerovaný na naší aparatuře.

Koronový výboj může vzniknout poli. Toto pole lze vytvořit v kon-pouze v nehomogenním elektrickémfiguraci elektrod, kde má alespoň

jedna elektroda malý poloměr křivosti. V praxi se jako elektroda s malým poloměrem křivosti používá například jehla nebo tenký drát. V blízkosti takové elektrody vzniká oblast ionizace, která je vizuálně pozorovatelná jako slabě svítící obal elektrody.



Obr. 1.: *Trichoderma atroviride*,  
foto André Grigorevski.

## Výsledky

V dosavadní práci jsme se zabývali vyvinutí metodiky ověřování a kvantifikace dosažených výsledků. Mnoho úsilí jsme vložili také do postupného zlepšování a úprav aparatury.

První testy byly zaměřeny na účinky samotného výboje. Byly testovány obě varianty korony – kladná i záporná. V testovacích podmínkách se neprojevil žádný vliv kladné korony na nárůst plísní ani v kombinaci s aerosolem peroxidu vodíku. Naproti tomu v případě záporné korony byly pozorovatelné výsledky i při použití samotného výboje. V dalších testech se s kladnou korunou již nepracovalo.

Dalšími testovanými parametry byla koncentrace peroxidu vodíku a doba expozice. Testy dopadly podle očekávání. Se zvyšující se koncentrací peroxidu vodíku a prodlužující se dobou expozice účinek na nárůst plísní rostl. Jako kompromis mezi účinností a vlivem na pracovní prostředí byla zvolena pro další testování koncentraci 10% peroxidu vodíku, při které se objevovaly prokazatelné inhibiční zóny i při krátkých dobách expozice.

S cílem vybrat odolný testovací kmen byla vyzkoušena odolnost různých druhů plísní. Jako nejodolnější se projevila *Trichoderma atroviride*, proto se jeví nejvhodnější k dalším testům.

V současnosti se testuje vliv vzdálenosti povrchu agaru od výboje a hledá se způsob prodloužení vzdálenosti doletu částic plazmatu. Teoreticky by se vzdálenost doletu částic měla prodloužit zvýšením rychlosti proudění vzduchu s aerosolu peroxidu vodíku. Tato teorie se

ověřuje v praxi. Dále se věnujeme kvantifikaci výsledků. Uvažuje se použití analýzy obrazu. Testuje se agar s bengálskou červení, který omezuje rozrůstání kolonií pro jejich lepší rozlišení při kvantifikaci.



Obr. 1: Fotografie části aparatury pro generaci plazmatu s párami peroxidu vodíku.

### **Literatura**

- 1) KULHÁNEK, Petr. *Úvod do teorie plazmatu*. první. Praha : AGA, 2011. 384 s.
- 2) *Plasma Science and Technology* [online]. 2004 [cit. 2011-07-13]. Perspectives on plasmas. Dostupné z WWW: <<http://www.plasmas.org/>>.
- 3) *Old dominion university* [online]. 2010 [cit. 2011-07-29]. Applied Plasma Technology Laboratory. Dostupné z WWW: <<http://www.ece.odu.edu/~mlarouss/>>.



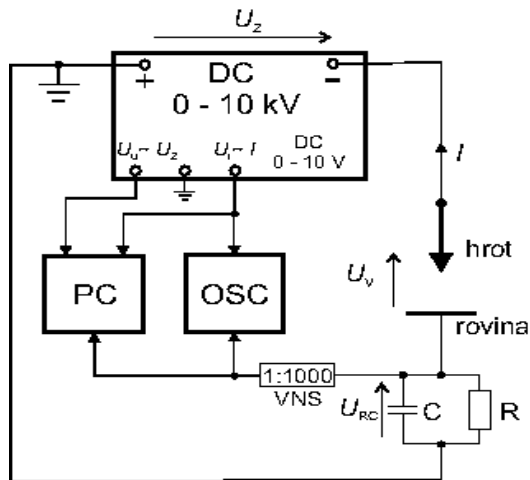
## Nové módy korónového výboje

Bc. Barbora Štěpánková

Školitel: Ing. Vladimír Scholtz, Ph.D.

Korónový výboje je v naší laboratoři používán ke generaci nízkoteplotního plazmatu a z tohoto důvodu je pro nás důležité znát jeho vlastnosti, chování a zabezpečit jeho stabilitu. Velkou nevýhodou je, že při malých proudech přechází rychle do jiskry, což způsobuje zahřátí plazmatu a přetížení vysokonapěťového zdroje. Tento problém lze částečně řešit zapojením předřadné impedance, výboj je tak schopen dosáhnout vyšších proudů doprovázený vznikem nových režimů.

Abychom byli schopni co nejlépe popsat chování výboje byly proměřovány VA charakteristiky, nejprve pouze pro zapojení předřadných rezistorů o hodnotách odporu 6, 8, 10, 12 M $\Omega$  následně byly přidávány kondenzátory o hodnotách kapacity 50, 100, 150, 200 a 250 pF. Měření charakteristik bylo prováděno v rozsahu 0-10 kV, a to pro typ výboje hrot proti rovině. Schéma zapojení je na obr. 1.

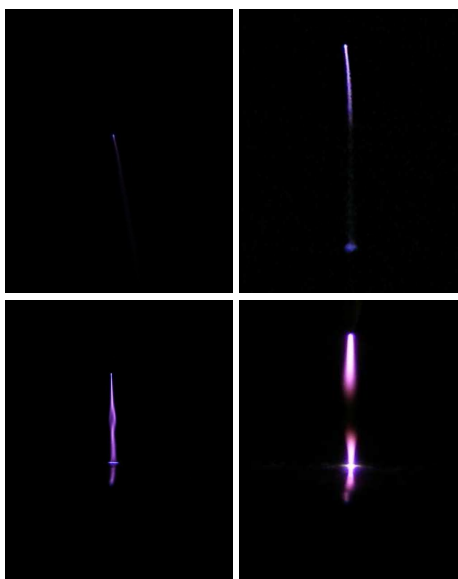


Obr. 1: Schéma zapojení.

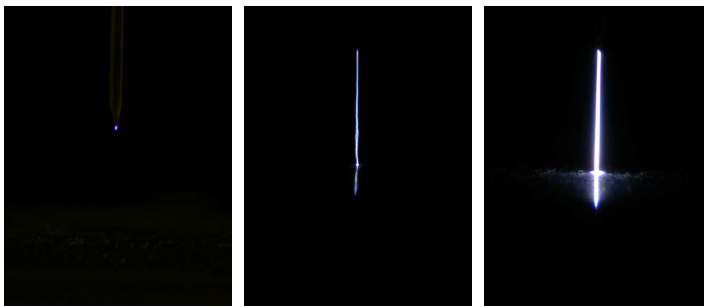
### Kladná koróna

Chování výboje pro všechny hodnoty odporu vykazují některé společné rysy. Při nízkých proudech pozorujeme v okolí jehly svítivou oblast (obr. 2a) jejíž intenzita se s rostoucím proudem zvětšuje až postupně protáhne v úzký streamer (obr. 2b). Při dosažení 28  $\mu\text{A}$  dojde ke skokovému nárůstu proudu, snížení napětí a změně režimu na tzv. zakřivenou jiskru (obr. 2c). Pro hodnotu odporu 6  $\text{M}\Omega$  se v okolí 500  $\mu\text{A}$  objeví režim tzv. přerušené jiskry (obr. 2d).

Paralelním připojením kondenzátoru k odporům dosáhneme odlišného chování výboje a nových režimů. Z hrotové elektrody, na které se objeví svítivá špička (obr. 3a) se začne vytahovat streamer (obr. 3b), který s rostoucím proudem nabývá na intenzitě (obr. 3c). Při kapacitách 150-250 pF úplně vymizí přechodová oblast v podobě proudového skoku.



Obr. 2: Módy kladné koróny s předřadným rezistorem. a) kladná špička b) streamer c) zakřivená jiskra d) přerušovaný kanál (pouze pro  $R=6\text{M}\Omega$ ).



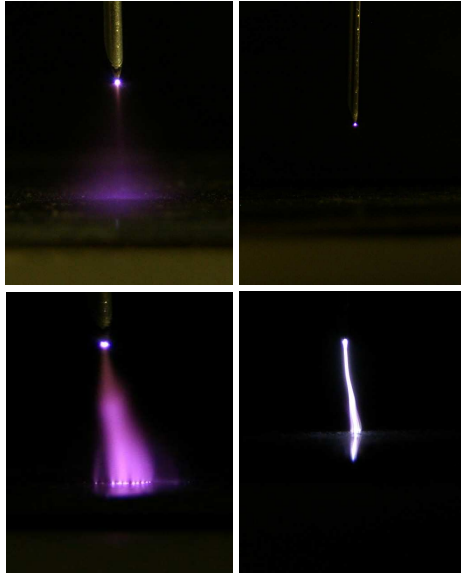
Obr. 3: Módy kladné koróny s předřadnou impedancí. a) kladná špička b) neperiodický streamer c) periodický streamer.

### Záporná koróna

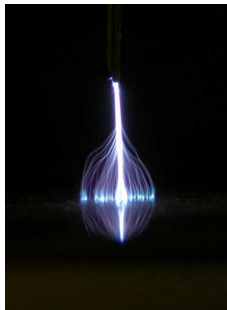
Záporná koróna vykazuje při zapojení předřadných rezistorů odlišné chování než koróna kladná. Na počátku se sice objeví svítivá špička (obr. 4a), ale dalším zvyšováním proudu přejde ve výboj kuželovitého tvaru (obr. 4b). Po přechodové oblasti výboj dosáhne tzv. plápolavého (doutnavého) režimu (obr. 4c).

Připojením kondenzátoru se objevují režimy podobné těm, které lze pozorovat se zapojením rezistorů. Ze svítivé špičky (obr. 4a) přechází výboj do kužele (obr. 4b) a po přechodové oblasti se formuje úzká přechodová jiskra (obr. 4d). U zapojení  $R=12\text{ M}\Omega$  a  $C=50\text{ pF}$  pozorujeme ještě dva další režimy, a to plápolavý režim (obr. 4c) a rozvětvenou jiskru (obr. 5).

Pro obě polaritu výboje platí, že při vyšších hodnotách předřadných odporů ( $10$  a  $12\text{ M}\Omega$ ) hoří stabilněji, při proudech  $500\text{ }\mu\text{A}$  nepřetěžují zdroj přechodová oblast je menší a výboj dosahuje nižšího napětí pro stejnou hodnotu proudu. Přidáním paralelně zapojených kondenzátorů dojde v kladné koróně k potlačení proudového skoku. Pro nižší odpory a kapacity pozorujeme pouze rychlejší nárůst proudu. Pro obě polaritu bylo opět pozorováno, že pro danou kapacitu a proud dosahuje výboj vyššího napětí pro nižší hodnotu odporu.



Obr. 4: Módy záporné koróny s předřadným odporem a impedancí. a) záporná špička b) kužel c) plápolavý režim d) přechodová jiskra.



Obr. 5: Rozvětvený mód záporného výboje, který se vyskytuje pouze pro hodnoty  $R = 12 \text{ M}\Omega$  a  $C = 50 \text{ pF}$ .

# Využití technologie Ink-Jet pro přípravu substrátů senzorů

Jiří Mikeš

Školitel: Ing. Dušak Kopecký, Ph.D.

## Úvod

Chemické senzory využívají interakce pevných látek s obklopujícím prostředím. Na změnu složení reagují změnou fyzikální, elektrické nebo optické veličiny.

Chemické senzory se skládají ze dvou hlavních částí. Chemicky aktivní polovodičové vrstvy (oxidy Fe, W, Ti, Sn, nebo organické polovodiče: polypyrol, polyanilin...), sloužící jako převodník, který reaguje měřitelnou odezvou (např. změna elektrické vodivosti) na koncentraci měřeného plynu. Základem chemického senzoru je substrát, jedná se o elektrický izolant s velkou tepelnou vodivostí, který je chemicky stabilní a odolný proti náhlým teplotním změnám. Na tomto nevodivém materiálu jsou nanášeny dvě elektrody.. Elektrody se na podklad nanášejí většinou litograficky nebo, jak je uvedeno v této práci, tiskem.

Cílem předkládané práce bylo provést úvodní experimenty s tištěním vodivých spojů metodou Ink-Jet na různé materiály tak, aby je v budoucnu bylo možné používat pro elektrodové systémy chemických senzorů. Dále porovnat závislost rozměrů tištěného spoje na délce trvání budícího pulzu trysky, frekvenci vystřelování kapek a na napětí vloženém na piezoelektrickou keramiku kapiláry. Součástí práce bylo rovněž porovnat vhodnost jednotlivých podkladových materiálů (papír, sklo, fólie) pro tisk.

## **Inkoustový tisk (Ink-Jet)**

Principem inkoustového tisku je kontinuální dodávání tiskové barvy do inkoustové hlavy, odkud je vystřelována ve formě mikroskopických kapiček na potiskované médium. Zde inkoust zasychá, a vytváří tisknutou strukturu. Ink-Jet se nejčastěji využívá pro tisk inkoustovými tiskárnami, v nichž je potiskované médium papír. Při přípravě substrátů chemických senzorů není vždy papír ideálním podkladem. Je chemicky i mechanicky nestabilní, neodolává vyšším teplotám a při tisku může docházet k tzv. „coffe ring efektu“ (tj. rozpíjení rozpouštědla). S výhodou lze využít i jiné, odolnější a stabilnější podkladové materiály. Takovým materiálem mohou být alumina, leštěný křemík, PE fólie, sklo, epoxidy a jiné.

Piezelektrický tisk využívá komor, které místo topného tělíska obsahují piezelektrické elementy (např.  $\text{Pb}[\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x}]\text{O}_3$ ,  $\text{BaTiO}_3$ ) schopné vložem napětí měnit objem komory, v důsledku čehož dochází k vytlačování mikroskopických kapiček (4-5  $\mu\text{l}$ ) na tiskový materiál. Výhodou piezelektrického tisku je schopnost nanášet široké spektrum inkoustů, a není nutná přítomnost organického rozpouštědla jako u termálního tisku.

Tisk vodivých struktur byl realizován piezelektrickou tryskou, na kterou je možné přivádět volitelně napětí v rozsahu -250 V až 250 V. Libovolně lze také měnit frekvenci tryskání až do 6kHz, a délku budícího pulzu v rozmezí 0-200  $\mu\text{s}$ . K trysce je přiváděn inkoust přírodní trubičkou ze zásobní vialky. Tryska je umístěna na třísém posuvu s teoretickou přesností 300 nm, řízeném pomocí počítače. Velikost a tvar kapek je zaznamenáván stavitelnou CCD kamerou, rovněž propojenou s počítačem.

Inkoustem pro nanášení vodivých linií byl koloidní roztok stříbra ve směsi etanolu a etandiolu ( $w_{\text{Ag}} = 0,2$ ). Měrný elektrický odpor inkoustu se pohybuje v rozmezí 5-30  $\mu\Omega\text{cm}^{-1}$ , jeho viskozita pak mezi 11,6 až 13 mPa/s. Natištěné linie či tečky byly analyzovány pomocí optické analýzy.

### **Výsledky nanášení inkoustu**

Vodivé linie byly nanášeny na papír, fotopapír, sklo a PE fólie. Při nanášení na sklo bylo nutné jeho zbavení od mastných nečistot. Při nanášení není žádoucí nanášet výrazně více kapek přes sebe, tisknutá linie je poté širší a nepravidelná. Pomocí obrazové analýzy byla určena velikost částic, a vypočítána vhodná frekvence nanášení a rychlost pojezdu. Součástí práce bylo nanesení kapek inkoustu postupně, kdy se nanasla jedna řada kapek, jedna vedle druhé, inkoust se nechal zaschnout a následovalo nanášení s posunem referenčního bodu o poloměr jedné kapky.

### **Závislost změny napětí na velikosti a počtu**

Při zvyšujícím se napětí vloženém na piezelektrický element se velikost vystřelované kapky zvětšuje. Od určitého mezního napětí se již nedokáže kapka udržet pohromadě a na potiskovaný materiál dopadne více kapek na jeden pulz. Při tištění složitějších spojitých struktur (např. elektrody substrátu chemického senzoru) nejsou vícečetné čáry žádoucí. Elektrody by se mohly spojit, a přestat tak plnit svoji funkci.

Vzhledem k tomu, že rozpouštědlo použité v inkoustu má tendenci tĕkat, je občas nutné přistoupit k ředění inkoustu. Z tohoto důvodu bylo nutné inkoust před nanášením ředit. Otestovány byly polární rozpouštědla metanol, etanol a butanol. Metanol se při experimentech ukázal jako příliš

těkavý, zasychal na trysce a znemožňoval nanášení bez neustálého čištění trysky. Pro ředění koloidního stříbra je výhodnější užívat delší alkoholy etanol a butanol.

### **Aktivace vodivých linií**

Stříbrný inkoust je po nanešení na vhodný podklad nutno aktivovat vyžháním v peci při teplotě nad 150°C po dobu alespoň 1 hodiny. Před aktivací není linie vlivem organických rozpouštědel a nosičů stříbra vodivá.

### **Závěr**

V rámci práce byly rozšířeny možnosti aparatury o možnost zaznamenávat tvar kapky kamerou na HDD počítače.

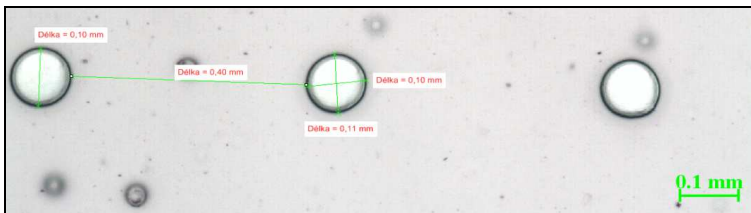
Byl sledován vliv napětí na velikost, tvar a počet vystřelovaných kapek. Došlo k porovnání vhodnosti různých podkladových médií. Nakonec byla nanešena vodivá linie mj. na sklo, a ověřena její vodivost ohmmetrem po aktivaci stříbrného inkoustu.

### **Zdroje**

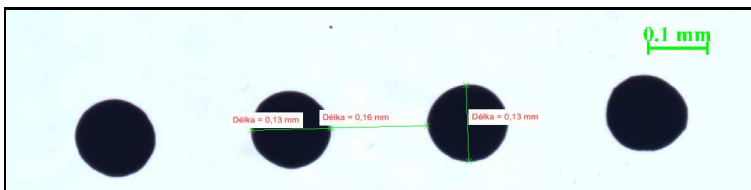
1. Vrnata M., Vysloužil F.: Typy vrstev, výběr materiálu, přednášky z CHVS, elektronická pomůcka, [www.ufmt.vscht.cz](http://www.ufmt.vscht.cz)
2. McCORKLE, D, Robert J. Warmack, Sanjay V. Patel, Todd Mlsna, Scott R. Hunter, Thomas L. Ferrell. Ethanol vapor detection in aqueous environments using micro-capacitors and dielectric polymers. 2005, vol. 107, p. 892–903.
3. KOPECKÝ, D. Využití technologie inkoustového tisku pro přípravu mikro a nanostruktur I., přednáška z Měřicí techniky



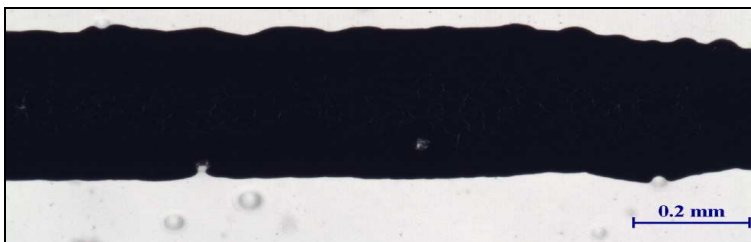
Obr. 1.: Fotopapír, 5mms<sup>-1</sup>, 200V, 20Hz, 50μm, butanol.



Obr. 2.: PE fólie,  $5\text{mms}^{-1}$ , 200V, 20Hz,  $50\mu\text{s}$ , butanol.



Obr. 3.: Sklo,  $5\text{mm}^{-1}$ , 100V, 20Hz,  $50\mu\text{s}$ , butanol.



Obr. 4.: Sklo, 170V,  $50\mu\text{s}$ , 20Hz,  $1,2\text{mms}^{-1}$ .



## Měření rozměrů částic práškových materiálů pro přípravu pelistorů obrazovou analýzou

Lukáš Lattenberk

Školitel: Ing. Anna Korbářová, Ph.D.

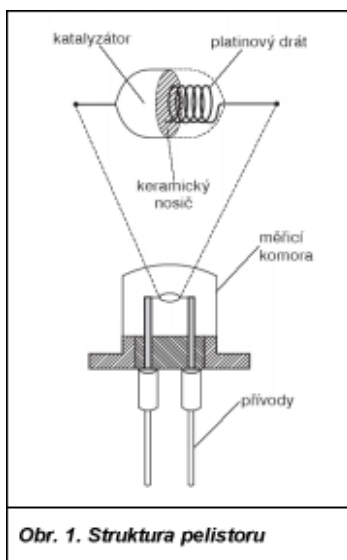
Pelistory patří mezi nejstarší typy chemických senzorů používaných v analyzátoch plynů. Jedná se o senzor, využívající měřící metody katalytického spalování (reakce probíhá na povrchu pelistoru, na kterém je nanesen katalyzátor – směs kyseliny chlorplatičité a chloridu palladnatého). Využívá se v detektorech a analyzátoch pro měření koncentrace hořlavých plynů a par ve vzduchu.

Pelistor má tvar koule nebo válce. Je vyroben z  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a různých pojiv a je nanesen na platinovém drátku, který zde slouží jako katalyzátor.

Mým úkolem bylo změřit a porovnat substance, používané k výrobě nosičů. Jednalo se o látky obsahující zejména

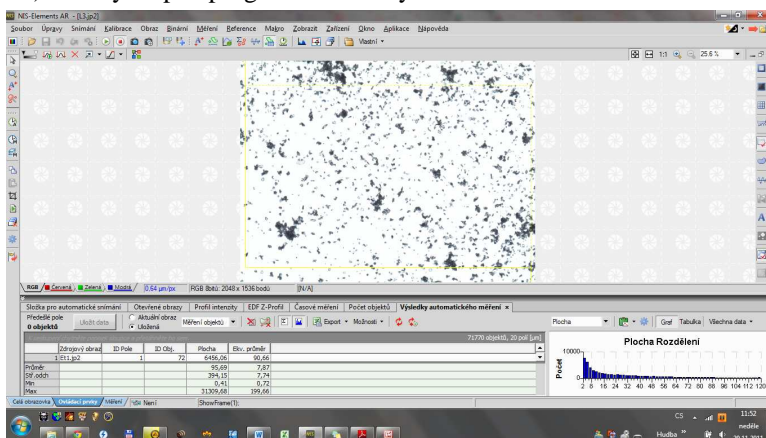
$\text{Al}_2\text{O}_3$  o různé zrnitosti a jílu (popř. kaolín) jako pojivo. Vzorky, připravené panem doc. Kadlecem, jsem porovnával se starým nosičem, jehož složení neznáme, a který je pro použití v analyzátoch ideální. Mým cílem bylo zjistit na základě podobnosti s ostatními vzorky složení tohoto vzorku a určit, který ze vzorků vyráběných z běžně dostupných surovin je na přípravu nosiče ideální. Další cíl mé práce bylo určit rozdíl mezi velikostí složek třených a netřených a zjistit, zda informace o zrnitosti látek odpovídá deklarovaným hodnotám. K vytvoření snímků jsem použil kameru Jenoptik ProgRes3 poskytující vysoké rozlišení a rychlou komunikaci s počítačem. Jako objektiv zde byl použit mikroskop Nikon EclipseLV100D. Snímky byly zhotoveny při 50 násobném zvětšení. K jejich vyhodnocení jsem použil program NIS-Elements.

**NIS-elements**



Obr. 1. Struktura pelistoru

Program NIS-elements patří k nejčastěji využívaným programům pro měření pomocí obrazové analýzy na naší škole. Je oblíbený i v řadě pracovišť po celé ČR. Je vyroben českou softwarovou firmou Laboratory imaging a nabízí i českou verzi. Program NIS-Elements je systém obrazové analýzy určený ke sledování, archivaci a ručnímu nebo automatizovanému měření preparátů. V základní programové výbavě jsou např. prvky umožňující nastavení a ovládání snímací kamery, „živé“ zobrazení obrazu na monitoru, získávání jednotlivých snímků, úprava sejmutého obrazu základními nástroji (kontrast, zaostření, vyhlazení), kalibrace systému, ruční proměrování délek, ploch a úhlů, prahování, morfologické operace, ruční editor binárního obrazu, automatizované měření planimetrických veličin (plocha, maximální a minimální rozměry, protažení, cirkularita, délka, šířka) i určitý stupeň programování – vytváření tzv. maker.



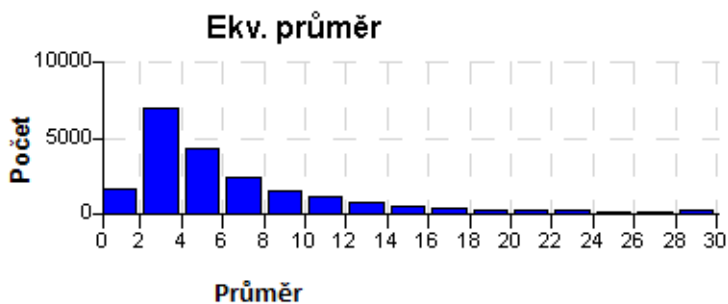
## Výsledky

Na základě analýzy jednotlivých vzorků jsem zjistil, že vzorek obsahující  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (graf č. 2) o zrnitosti  $10 \mu\text{m}$  a  $< 150 \mu\text{m}$  a kaolín se svým složením nejvíce podobá původnímu vzorku (graf č. 1). Je tudíž pro výrobu pelistorových senzorů ideální. Dále jsem zjistil, že není rozdíl ve velikosti částic u třených a netřených vzorků. Netřené vzorky se však špatně rozprostívaly, protože, jak bylo zjištěno analýzou, vytváří snáze shluky.

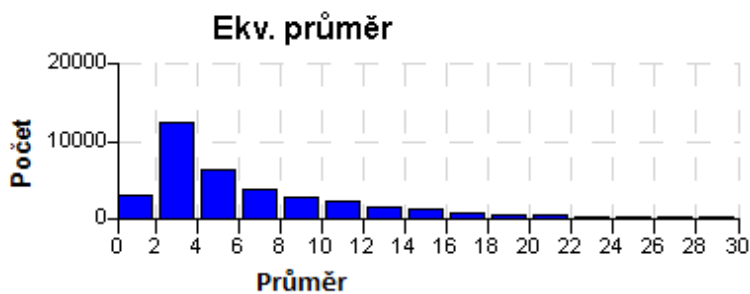
Po analýze vzorků, které byly připraveny síťovou metodou, jsem zjistil, že průměr částic odpovídá informacím udávaným výrobcem. Ve vzorku  $\text{Al}_2\text{O}_3$   $10 \mu\text{m}$  (graf č.3) se vyskytují částice převážně kolem  $10 \mu\text{m}$  a v  $\text{Al}_2\text{O}_3$   $< 150 \mu\text{m}$  (graf č. 4) se nevyskytují větší částice.

## Závěr

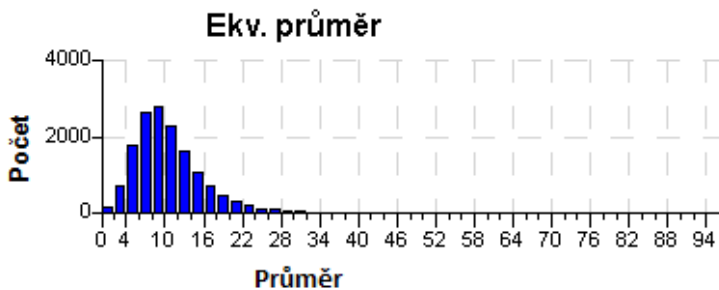
Obrazová analýza je vhodná metoda v případě, že vzorek lze rozptýlit na podložní sklíčko. Výsledky zahrnují až desítky tisíc částic. Každý vzorek byl desetkrát nesnímán, výsledky by tudíž měly být statisticky průkazné.



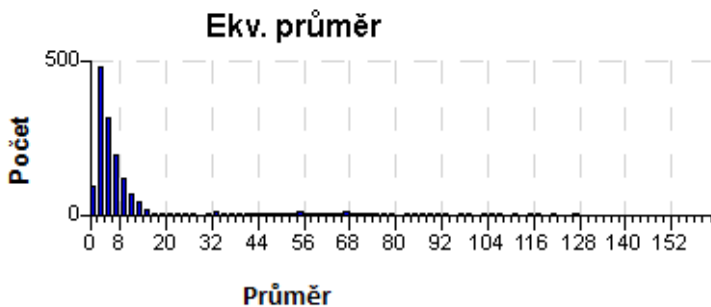
Graf č. 1: Původní vzorek.



Graf č. 2: Podobný vzorek



Graf č. 3: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10 μm vzorek N OLD



Graf č. 4: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> <150 μm vzorek N9

## Chipsy ako ich nepoznáme

Martina Živčáková

Školiteľ: Ing. Anna Korbářová, Ph.D.

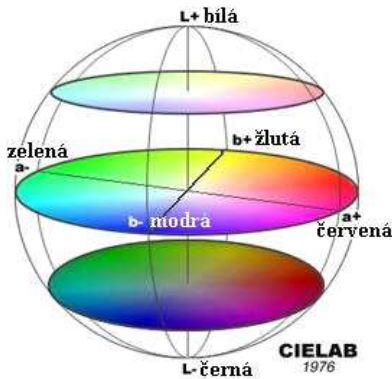
Odroda zemiakov s červenou a modrou dužinou sa pestuje zatiaľ len ako delikatesa pre spiestrenie trhu. V poslednej dobe je im avšak zo zdravotných dôvodov venovaná väčšia pozornosť. Antioxidačná kapacita červeno alebo modro zafarbených zemiakov je 2-3× vyšší v porovnaní so zemiakmi s bielou/žltou dužinou. Zemiaky by mohli teda zvýšiť príjem antioxidantov v ľudskej strave.

V tejto práci sme sa sústredili predovšetkým na meranie farebnosti zemiakových lupienkov vyrobených z vybraných odrôd zemiakov. Zastúpené boli tradične žlté fenotypy z nich boli zastúpené odrody Agria, Russet Burbank, z červených boli zastúpené odrody Highland Burgundy Red, Rote Emma a z fialových to boli Blaue Elisa, Vitelotte, Blaue St.Galler, Valfi.



Obr. 1.: Agria, Rote emma, Blaue elisa.

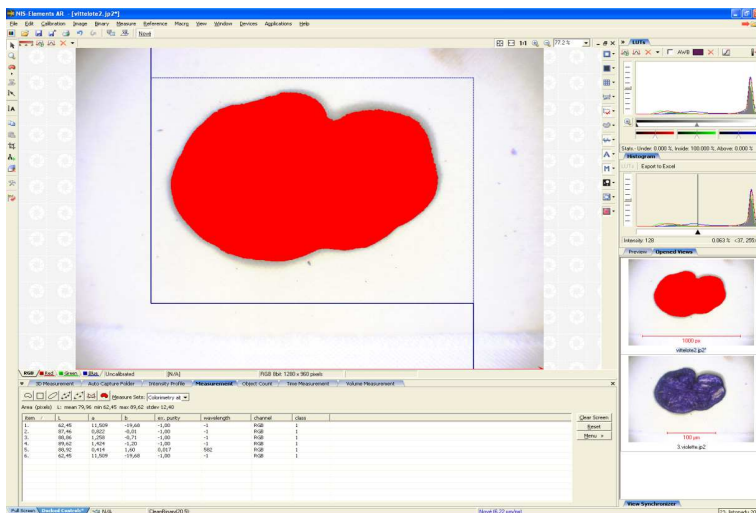
Farebnosť lupienkov bola vyhodnocovaná obrazovou analýzou s využitím digitálnej kamery a softwaru NIS-Elements. Ako podklad pod vzorky sme mali biely a čierny semiš. Na čiernom semiši sa vyhodnotenia robili lepšie, pretože nám tam nevznikali tieň chipsu ako na bielom semiši. Výsledky boli spracované tak ako pre klasický farebný model RGB, tak i model Lab, preferovaný medzi odborníkmi z potravinárskych oborov. Chipsy, ktoré boli dostupné na meranie, boli dva roky staré. Mnohé z nich boli z oxidované. Farba na niektorých druhov chipsov bola vyblednutá, aj napriek tomu sme sa snažili vybrať chipsy, ktoré mali ešte ako tak zachovanú farbu.



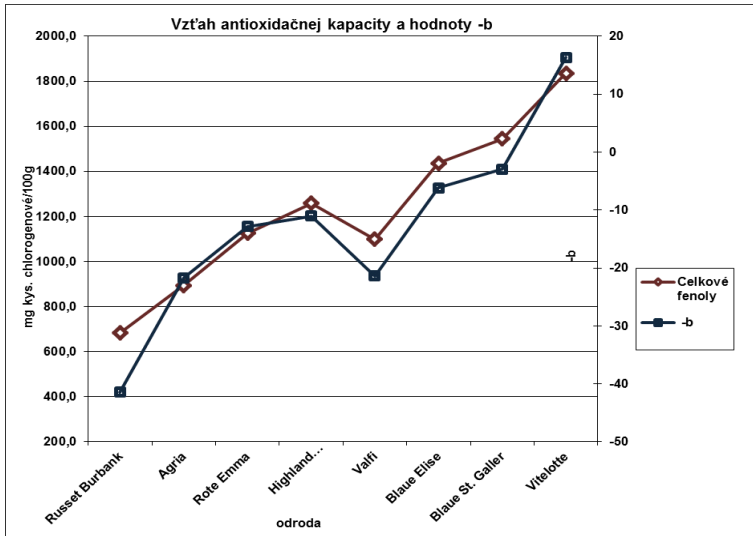
Obr. 2.: CIEL  $L^*a^*b^*$ .

Dospeli sme k záveru, že obrazová analýza je rýchlejšia, lacnejšia a môže s ňou s určitou presnosťou odvodiť antioxidačnú kapacitu. Z použitých metód sa nám osvedčil predovšetkým model  $L^*a^*b^*$ , ktorý popisuje farbu ľudského videnia. A parameter b popisuje faktor, ktorý nás u chipsov zaujíma. Zatiaľ, čo model RGB nepopisuje ľudské vnímanie, ani intenzitu ani jednotlivé zložky veľmi neodpovedajú charakteru chipsu, pretože s výsledkami antioxidačnej kapacity často korelujú.

V závere sme farebnosť porovnali s antioxidačnou kapacitou lupienkov resp. s obsahom fenolických látok a bolo zistené, že tieto parametre spolu korelujú. Hodnota korelačného parametru nám vyšla  $-0,92872$ .



Obr. 4.: Nis elements – prahovanie.



Graf 1: Korelácie hodnot antioxidačnej kapacity a (-b).

## Přežívání koryšů *Artemia salina* při expozici korónovému výboji

Viktorija Baškatová

Školitel: Ing. Josef Khun, Ph.D.

V této práci je zkoumán vliv netermálního plazmatu generovaného v korónovém výboji na mnohobuněčné koryše *Artemia salina*. Zkoumán je vliv netermálního plazmatu na přežívání vajíček nebo živých jedinců ve fyziologickém roztoku. Netermální plazma může na organismy působit jak přímo tak i prostřednictvím stabilních částic vznikajících v samotném roztoku (např. změna pH). Experimenty jsou rozděleny na případy, kdy jsou vajíčka, či živý jedinci po expozici ponecháni v původním exponovaném roztoku, či vyočkováni do neexponovaného fyziologického roztoku. Bylo zjištěno, že při působení výboje na fyziologický roztok s vajíčky nebo živými jedinci dochází k jejich usmrcení již za několik minut.

Prvotní impulz pro exponování koryšů plazmatem byl fakt, že buchanky jsou mezipřevodníkem pro vlasovce. Pokud se larvy tohoto červa dostanou do lidských střev (například prostřednictvím buchanky) putují dále do lidského podkoží, kde žijí. Způsobují tak onemocnění drakunkulózu. Buchanky stejně jako artémie jsou primitivní koryši, ale dají se těžko zakoupit, proto jsme využili pro náš výzkum artémie.

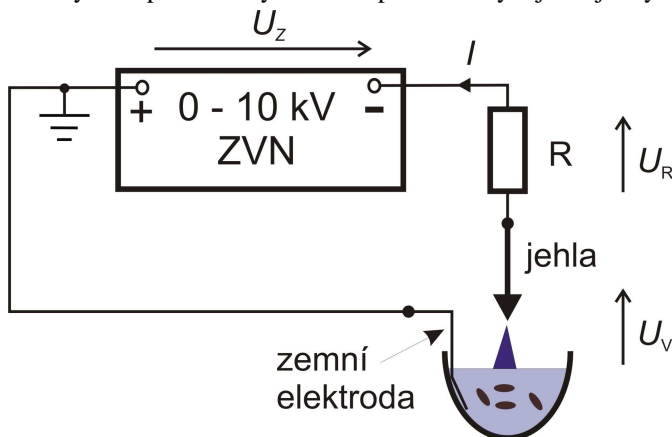
*Artémia salina* neboli žábřonožka solná je malý koryš, který je rozšířen ve slaných jezerech po celém světě. Vyznačuje se protáhlým měkkým tělem složeným z malých článků. Je to mimořádně odolný tvor, který v podobě oplodněných vajíček, přečká i velmi dlouho trávající nepříznivé podmínky. Tito živočichové mají velmi rychlý životní cyklus – od vylíhnutí z vajíčka, přes stádium larvy až do dospělosti uplyne necelé 4 týdny. Nepříznivé období přečkávají žábřonožky v podobě vajíček opatřených velmi pevnou skořápkou, která jsou mimořádně odolná a zárodek v nich může přežít desítky let. Jakmile se toto vajíčko dostane do vhodného prostředí, nabobtná a do 12 až 48 hodin se z něj vylíhne malá larvička.

Pro naše experimenty byla zakoupena sušená vajíčka, ze kterých jsme pak lihnuli živé artémie. Připravili jsme si 3% slaný roztok a zavedli vzduchování, aby vajíčka nesetrvávala na dně. Artémie se vylíhly při teplotě 25 stupňů do dvou dnů.

Experimentální aparatura, ve které probíhaly samotné pokusy je ukázána na obr. 1. Koronový výboj použitý pro generaci nízkoteplotního plazmatu



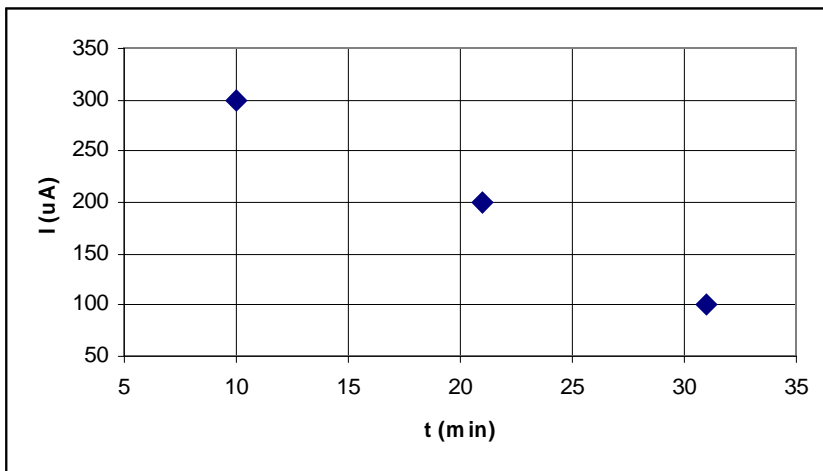
byl napájen ze zdroje vysokého stejnosměrného napětí ZVN ( $U = 10 \text{ kV}$ ,  $I = 500 \text{ } \mu\text{A}$ ). Do série k výboji byla připojena předfadná impedance tvořená rezistorem  $R = 20 \text{ M}\Omega$ . Tato impedance sloužila pro stabilizaci výboje, tj. dosažení vyšších proudů a výkonů bez přechodu výboje do jiskry.



Obr. 1 Experimentální aparatura. ZVN – zdroj vysokého stejnosměrného napětí,  $U_Z$  – napětí na svorkách zdroje,  $U_R$  – napětí na odporu,  $R = 20 \text{ M}\Omega$ ,  $U_V$  – napětí na elektrodách výboje a platí  $U_V = U_Z - U_R = U_Z - RI$ .

Soustava elektrod koronového výboje typu hrot – rovinná elektroda byla realizována hrotem lékařské nerezové jehly a vodní hladinou fyziologického roztoku, k němuž byla jehla situována kolmo. Vzdálenost hrotu jehly od hladina byla při všech experimentech nastavena na  $d = 2 \text{ mm}$ . Fyziologický roztok (buď samotný, s vajíčky artérií či vylíhlými artemiemi) o objemu  $0,5 \text{ ml}$  byl nalit do jamky tečkovací destičky. Do roztoku byla ponořena zemní elektroda a výboj hořel mezi hrotem jehly a hladinou. Při experimentech byly použity oba typy koronového výboje. Kladná korona (jehla polarizována kladně) hořela v režimu přechodové jiskry, při kterém dochází periodicky k posloupnosti procesů - šíření streamerového kanálu od hrotu jehly k hladině, vývoj kanálu přechodové jiskry a zánik tohoto kanálu. Tento typ výboje má pulzní charakter. Záporná korona (jehla polarizována záporně – situace na obr. 1) byla použita v režimu tzv. plápolavé korony, tj. situace, kdy se výboj jeví jako svítící kužel, který mění svoji polohu na hladině. Tento typ výboje se v porovnání s prvně uvedeným neprojevuje výrazným pulzním charakterem.

Experimenty byly rozděleny do tří skupin. Za prvé, exponování roztoku koronovým výbojem v němž byly obsaženy vylhlé artemie. V tomto případě byla zkoumána závislost proudu výboje  $I$  na době expozice  $t$  roztoku, po které dojde bezprostředně k usmrcení všech artémií přítomných v roztoku. K tomuto účelu byla použita pouze kladná korona z důvodu její větší účinnosti. Použité proudy výboje byly v tomto případě  $I = 100, 200$  a  $300 \mu\text{A}$  a zjištěná závislost je na obr. 1. Je zde vidět klesající charakter této závislosti.



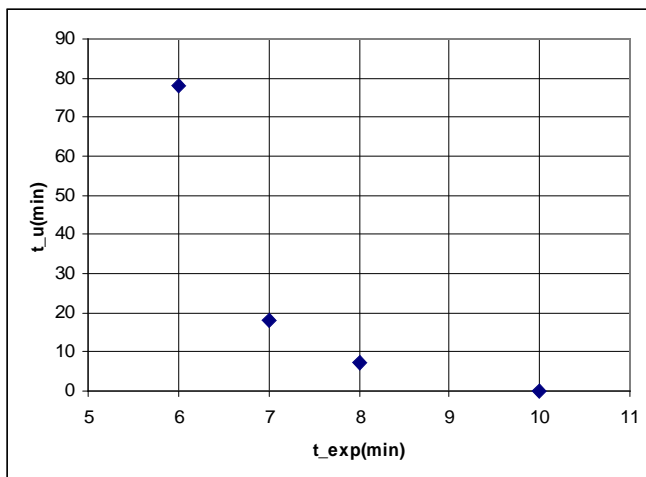
Obr. 1 Závislost proudu výboje  $I$  na době expozice  $t$ , po které dojde bezprostředně k úmrtí všech artémií v jamce.

V dalším kroku byla testována závislost doby  $t_u$ , za kterou dojde k usmrcení všech artémií od konce expozice, na době expozice roztoku  $t_{exp}$  výbojem. Tato závislost je ukázána na obr. 2. Proud byl v tomto případě nastaven na  $I = 300 \mu\text{A}$  a je vidět, že při době expozice  $t_{exp} = 10$  min jsou bezprostředně po konci expozice všechny artémie v jamce usmrceny, což je v souladu s grafem na obr. 1. V případě exponování roztoku s artemiemy zápornou korunou, byly doby usmrcení  $t_u$  všech artémií od konce expozice mnohem větší, například pro  $t_{exp} = 10$  min byla  $t_u = 85$  min,  $t_{exp} = 8$  min byla  $t_u = 120$  min.

Bylo dále pozorováno, že po expozici kladnou korunou je většina umrtvených artémií vyběleno, pouze některé mají žlutou barvu, zatímco v případě záporné korony je tomu naopak, tj. většina artémií zachovává

původní žlutou barvu, zatímco pouze jednotky artémií jsou vyběleny, viz obr. 3 a, b.

Závěrem lze z doposud provedených experimentů říci, že aplikací nízkoteplotního plazmatu, vytvořeného koronovým výbojem, na fyziologický roztok buď s vajíčky, s vylíhlými artemiemi nebo zprvu samotný, lze inaktivovat koryše *Artemia salina*. Použití kladné korony v režimu přechodové jiskry vykazuje zatím větší účinnost inaktivace, než použití záporné korony v režimu tzv. plápolavém.



Obr. 2 Závislost doby usmrcení  $t_u$  všech artémií od konce expozice na době expozice roztoku  $t_{exp}$  výbojem,  $I = 300 \mu\text{A}$ .



Obr. 3 Artémie po expozici (a) kladnému a (b) zápornému koronovému výboji,  $I = 300 \mu\text{A}$ .

