



Univerzita Komenského v Bratislave  
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky



**RNDr. Ladislav Moravský**

**Vývoj a štúdium vlastností nových atmosférických zdrojov plazmy  
a mikrovýbojov a ich aplikácií**

**Autoreferát dizertačnej práce  
na získanie akademického titulu philosophiae doctor**

**v odbore doktorandského štúdia:**

4.1.6. Fyzika plazmy

**Bratislava 2016**

**Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Katedre experimentálnej fyziky, Fakulty matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave**

**Predkladateľ:** **RNDr. Ladislav Moravský**  
Katedra experimentálnej fyziky, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky  
Univerzita Komenského v Bratislave  
Mlynská dolina, 842 48 Bratislava

**Školiteľ:** **prof. Dr. Štefan Matejčík, DrSc.**  
Katedra experimentálnej fyziky, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky  
Univerzita Komenského v Bratislave  
Mlynská dolina, 842 48 Bratislava

**Konzultant:** **RNDr. Matej Klas, PhD.**  
Katedra experimentálnej fyziky, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky  
Univerzita Komenského v Bratislave  
Mlynská dolina, 842 48 Bratislava

**Oponenti:**  
**prof. RNDr. Ivan Černušák, DrSc.**  
Katedra fyzikálnej a teoretickej chémie, Prírodovedecká fakulta  
Univerzita Komenského v Bratislave  
Mlynská dolina, Ilkovičova 6  
842 15 Bratislava  
cernusak@fns.uniba.sk

**Mgr. Věra Mazánková, PhD.**  
Ústav fyzikální a spotřební chemie  
Fakulta chemická, Vysoké učení technické v Brně  
Purkyňova 118  
Královo Pole 612 00 Brno  
Česká republika  
mazankova@fch.vut.cz

**doc. RNDr. Mário Janda, PhD.**  
Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorológie, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky  
Univerzita Komenského v Bratislave  
Mlynská dolina F-2, 842 48 Bratislava  
Mario.Janda@fmph.uniba.sk

**Obhajoba dizertačnej práce sa koná ..... o ..... h  
pred komisiou pre obhajobu dizertačnej práce v odbore doktorandského štúdia vymenovanou predsedom  
odborovej komisie .....**

.....  
(študijný odbor) (názov študijného programu doktorandského štúdia)

**na** .....  
(presná adresa miesta konania obhajoby dizertačnej práce)

**Predseda odborovej komisie:**

.....  
(meno a priezvisko s uvedením titulov a hodností  
a presná adresa jeho zamestnávateľa)

## Obsah

Úvod.....	4
Ciele práce.....	5
Plazma jet – stručný prehľad.....	6
Aplikácia plazmy v biológii - súčasný stav problematiky.....	7
Kvasinky.....	8
Rakovinové bunky.....	8
APPJ na báze DBD výboja v argóne.....	9
Napät'ový zdroj.....	10
Príprava biologických vzoriek – Kvasinky.....	11
Adherované kvasinky.....	12
Suspenzia kvasiniek.....	12
Kvasinky na agarovom substráte.....	13
Pôsobenie modifikovaného argónového APPJ na deionizovanú vodu.....	13
Korónový výboj.....	13
APPJ na báze iskrového výboja.....	14
Príprava a vyhodnotenie vzoriek.....	15
Mikrovýboje.....	16
Záver.....	17
Literatúra.....	19
Zoznam publikačnej činnosti.....	22

## Úvod

Rozsah aplikácií nerovnovážnej plazmy generovanej pri atmosférickom tlaku v biológii a medicíne v posledných rokoch prudko narástol. Rozvoj aktivít v tomto smere viedol k sformovaniu novej oblasti v plazmochémii, k plazmovej medicíne [1-3]. Takáto plazma môže mať nielen fyzikálne (napr. rezanie tkanív), ale aj medicínsky relevantné terapeutické účinky. Plazma môže vyvolať komplexnú sériu biologických reakcií v tkanivách a bunkách. Kvôli vývoju nových plazmových technológií využiteľných v biológii a medicíne je zásadné, aby boli preštudované a pochopené mechanizmy interakcií nerovnovážnych elektrických výbojov so živými organizmami, tkanivami a bunkami.

Pokrok v rôznych fyzikálnych vedách, akými sú mikroelektronika, optika, fyzika tuhých látok a nanotechnológie, viedol aj k vývoju nových metód a smerov v oblasti biologických vied. Plazmové technológie sa objavujú po celom svete ako samostatný odbor. Liečenie plazmou môžeme rozdeliť do troch hlavných oblastí: plazmou asistovaná modifikácia biorelevantných povrchov, biodekontaminácia a sterilizácia na báze plazmy a priame terapeutické plazmatické aplikácie.

Modifikácia a dekontaminácia povrchu materiálov pomocou plazmy sú metódy, v ktorých sa plazma používa na úpravu povrchov materiálov pre následné medicínske aplikácie. Na rozdiel od týchto aplikácií, cieľom terapeutického použitia plazmy je priama expozícia tkanív ľudského (alebo zvieracieho) organizmov plazmou. Potrebný vedecký základ v tomto veľmi inovatívnom odbore je základná znalosť mechanizmov interakcie plazmy so živými bunkami a tkanivami.

Terapeutické aplikácie fyzikálnej plazmy v rôznych odboroch lekárstva, ako sú stomatológia, vnútorné lekárstvo, chirurgia, traumatológia, dermatológia, onkológia, a ďalšie, sú cieľom mnohých výskumných ústavov a združení na celom svete, (McGill University a Montreal University v Kanade, INP Greifswald a Max-Planck Institut v Nemecku, University of California, Berkley v Kalifornii, Osaka University v Japonsku, Loughborough University vo Veľkej Británii, a ostatné).

## Ciele práce

Hlavným cieľom tejto práce bol výskum zameraný na vývoj nových typov APPJ pier, ktoré by boli vhodné na biologické aplikácie plazmy, napr. na inaktiváciu patogénnych mikroorganizmov, podporu apoptózy v rakovinových bunkách bez degradácie zdravých buniek. Zdrojmi nerovnovážnej plazmy vyvinutými na tieto účely sú plazmové perá (APPJ) na báze DBD výboja pracujúceho v argóne a APPJ na báze iskrového výboja pracujúceho vo vzduchu.

Okrem vývoja nových APPJ zdrojov ďalšími cieľmi práce boli:

- charakterizácia, diagnostika skúmaných APPJ zdrojov
- štúdium mechanizmu zapálenia mikrovýbojov
- výskum pôsobenia zdrojov plazmy na mikroorganizmy a na vodu

Postup pri realizácii cieľov postupoval podľa nasledovného plánu:

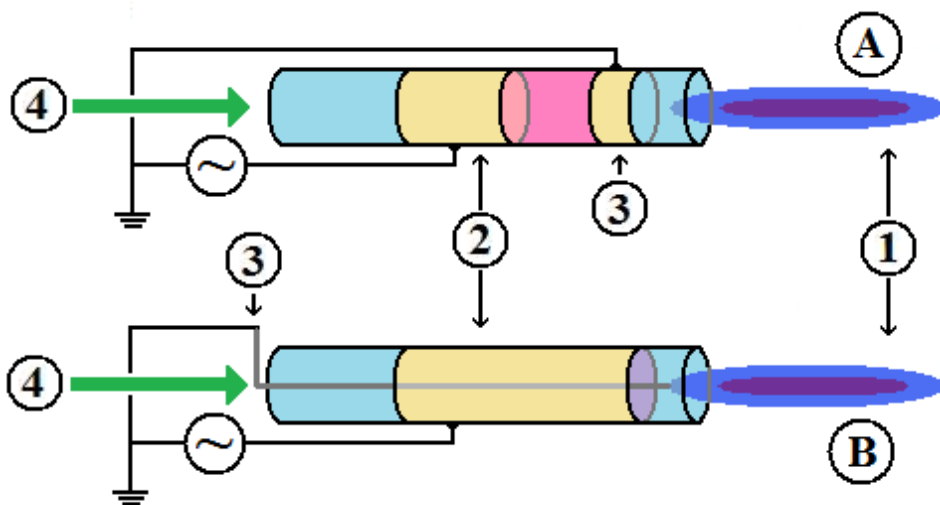
- Konštrukcia APPJ na báze argónu s nízkou spotrebou elektrickej energie a pracovného plynu (Kvôli nižšej cene sa vybral argón namiesto hélia).
- Skonštruovanie APPJ na báze iskrového výboja generovaného vo vzduchu.
- Štúdium mechanizmov zapálenia mikrovýbojov v rôznych plynoch (Ar, H<sub>2</sub>, vzduch, vodná para). Elektrická diagnostika APPJ výbojov.
- Optická emisná a absorpčná diagnostika výbojov, identifikácia neutrálnych a vzbuđených produktov generovaných plazmou (OES a FTIR).
- Identifikácia častíc generovaných plazmou vo vode pomocou kapilárnej elektroforézy (CZE a ITP-CZE).
- Inaktivácia biologických materiálov (rôzne formy kvasinky *C. albicans*) plazmou pre rôzne fyzikálne podmienky (rôzne prímеси kyslíka, prietoková rýchlosť plynov, vzdialenosť medzi ošetrovaným materiálom a výbojom, čas aplikácie plazmy) a štúdium jej účinkov.

Skúmanie účinkov plazmy generovanej iskrovým výbojom na ľudské bunky. Porovnávanie účinkov plazmy na rakovinové (kožné), kmeňové a zdravé bunky.

## Plazma jet – stručný prehľad

Špeciálnou skupinou výbojov generovaných pri atmosférickom tlaku je takzvaný plazma jet (APPJ – Atmospheric Pressure Plasma Jet). Existuje niekoľko prehľadových článkov ktoré zhŕňajú rôzne prístupy generácie takéhoto typu výboja a jeho možného použitia [4-6], čo dokazuje skutočný záujem o plazmové zdroje podobného typu. Kým DBD výboje pracujúce pri atmosférickom tlaku našli využitie v rôznych moderných aplikáciách, relatívne novšie atmosférické výboje typu plazma-jet (APPJ) predstavujú oveľa všestrannejšiu alternatívu. V porovnaní s niektorými inými zdrojmi atmosférickej plazmy, kde sa plazma nachádza väčšinou v uzavretom medielektródovom priestore alebo vo výbojovej komore, plazma jet dáva možnosť vypúšťaniu reaktívnych častíc von do voľného priestoru. Prednosťou plazmových jetov je aj možnosť opracovávať materiály, ktoré sa nemôžu dať medzi elektródy objemového DBD výboja alebo nemôžu byť opracované povrchovým DBD výbojom kvôli členitému povrchu [4, 5]. Atraktívna vlastnosť APPJ je možnosť generácie teplotne nerovnovážnej plazmy pri atmosférickom tlaku, ktorá je schopná dosiahnuť zvýšenie chemických procesov v plyne bez zvýšenia jeho teploty. Táto dôležitá vlastnosť viedla k jej rozsiahlemu používaniu v aplikáciách, ktoré vyžadujú nízku teplotu plazmy, ako sú opracovanie rôznych materiálov alebo analytické a biomedicínske aplikácie [7, 8].

APPJ je zvyčajne generovaný vo valcovej dielektrickej trubici pomocou pulzného jednosmerného, alebo striedavého (RF, mikrovlnného) elektrického napätia. Vysoké napätie je privedené buď na vnútornú (v trubici) alebo na vonkajšiu elektródu (okolo trubice), zatiaľ čo druhá vonkajšia elektróda je uzemnená. Na Obr. 1 môžeme vidieť dve typické konfigurácie elektród.



**Obrázok 1:** Schéma plazmových jetov s pozdĺžnym (A) a kolmým (B) elektrickým polom na prúd plynu. 1) Vyfukovaná plazma, 2) Elektróda s vysokým napätím, 3) Uzemnená elektróda, 4) Prívod plynu.

V prvej (A) je elektrické pole kolmé a v druhej (B) je pozdĺžne na smer prúdenia plynu. Plazma vytvorená v pozdĺžnom elektrickom poli generuje zložitejšie plazmochemické procesy, pričom aj teplota elektrónov je vyššia ako pri kolmom elektrickom poli [9]. Kvôli tomu sa v posledných rokoch výskum a aplikácia APPJ zameriava na plazmu vytvorenú v pozdĺžnom elektrickom poli [10-14]. Generácia plazmy sa uskutočňuje v inertných plynoch v prietokovom režime, najčastejšie v hélíu a v argóne, prípadne sa pridávajú aj prímеси iných plynov ako dusík, kyslík a vzduch. Pomocou prietoku plynu je plazma vyfukovaná do voľného priestoru, kde sa mieša s okolitou atmosférou. Najužitočnejšou vlastnosťou APPJ je ich schopnosť priviesť plazmou excitované atómové a molekulárne druhy častíc na substráty, ktoré sa nachádzajú ďaleko od zdroja budenia. Minimalizuje sa možnosť prehriatia substrátu, ako aj vytvorenie prirazu cez substrát. Preto sú obzvlášť vhodné pre použitie v relatívne novej disciplíne - plazmovej medicíne, kde je perspektívna ich aplikácia v rôznych oblastiach od bakteriálnej sterilizácie až po liečbu živočíšneho a ľudského tkaniva [1-3, 10, 15].

### **Aplikácia plazmy v biológii - súčasný stav problematiky**

Biomedicínske aplikácie plazmy predstavujú dôležitú úlohu pre medicínu, ale rovnakú výzvu aj pre fyziku plazmy. Terapeutická aplikácia plazmy vyžaduje horenie plazmy v otvorenej atmosfére pri atmosférickom tlaku a ľahko ovládateľné zdroje budenia plazmy. Z hľadiska vývoja vhodných plazmových zdrojov sa študujú hlavne ich elektrické, optické parametre a chemické zloženie, ako aj použitie rôznych plynových prímеси [5, 16-20]. Medzi najbežnejšie plyny, ktoré sa používajú v plazmových zdrojoch APPJ v oblasti medicínskych aplikácií patria inertné plyny ako hélium alebo argón, ale používajú sa aj zmesi týchto plynov s dusíkom, kyslíkom, syntetickým vzduchom a prímесou vodných pár [19-21]. Široko používané elektrické výboje tvoriace nízkoteplotnú plazmu pri atmosférickom tlaku sú stále výzvou aj pre diagnostiku plazmy. Prítomnosť dusíka, kyslíka a vodných pár má nezanedbateľný vplyv na komplexnú plazmochémiu.

V posledných rokoch bolo študované a popísané široké spektrum plazmových zdrojov určených pre biomedicínske aplikácie, ako napríklad plazmové ihly [22], plazmové perá [2, 23], dielektrické bariérové výboje s pohyblivou elektródou (FE-DBD) [24-27], fakle (plasma torch) na báze tlecieho výboja [8], mikrovlnné plazmové fakle [28], plazmové jety na báze hélia [29-31], dielektrické bariérové výboje (DBD) [32], alebo nanosekundové plazmové delá [33]. Hoci tento zoznam nie je zďaleka úplný, ďalej sa budeme zameriavať na plazmové perá na báze DBD výbojov.

Plazmová sterilizácia je jedným z najstarších a najlepšie preskúmaných aplikácií vzťahujúcich sa k biomedicínskej technike. Antimikrobiálne vlastnosti plazmy boli dôkladne popísané vo viacerých prácach [27, 34-45]. Atmosférické ako aj nízkotlakové zdroje boli použité v priamych aj nepriamych expozíciách. Skúmali sa plynné prostredia ako je vzduch, kyslík, dusík a vzácne plyny. Plazma bola použitá na ošetrovanie rôznych typov vzoriek - rôzne druhy baktérií [27, 34-45] a spór [46-48]. Interakcia plazmy s baktériami je pomerne zložitá, účinky sú veľmi závislé od dávky v rozmedzí od smrteľnej (bunková smrť [36]) cez subletálnu (bakteriostatický účinok v dôsledku mierneho poškodenia vedúci k zastaveniu bunkového cyklu [49]), až po neletálne metabolické zmeny [50]. Účinky plazmy sú závislé na spôsobe liečby a na povahe ožarovaného biologického materiálu (baktérie, kultivované bunky, tkanivá, atď.).

## **Kvasinky**

Kandidóza je najčastejšou fungálnou infekciou u ľudí, je spôsobená kvasinkami z rodu *Candida* [51, 52]. Okrem invazívnych ochorení, vrátane kandidémie, dôležitým klinickým problémom sú aj orálna a vaginálna kandidóza [53, 54]. Hoci druhy *Candida* sú mikroorganizmy pozostávajúce prevažne z planktonických jednobunkových foriem, boli pozorované aj komplexné vláknité viacbunkové štruktúry najmä v infikovaných tkanivách [55]. Štruktúra mikrobiálnej komunity nanosená na exopolymerické materiály sa definuje ako biofilm. Takéto vrstvy sa môžu tvoriť na rôznych implantovaných lekárskech zariadeniach, ako sú cievne a močové katétre, srdcové chlopne, ako aj kontaktné šošovky a protézy [56-59]. Tvorba biofilmu na povrchu zubnej protézy má zásadný význam pre patogenézu u väčšiny kvasinkových infekcií ústnej dutiny. Biofilmy s komplexnou štruktúrou sú odolné proti obrane hostiteľa, ale aj proti bežne používaným antimykotikám [56, 60, 61]. Rozvíjanie nových prístupov pri liečení kandidózy má veľký význam a to najmä tých, ktoré súvisia s biofilmom tvoreným kvasinkami *Candida*. Ústne kvasinkové infekcie sú spôsobené prevažne kvasinkou *Candida albicans*. Približne 40% z celkovej ľudskej populácie a 75% osôb so zubnou protézou, má ústnu dutinu kolonizovanú *C. albicans*.

## **Rakovinové bunky**

Eukaryotickými bunkami definujeme bunky, ktoré majú genetický materiál vo vnútri jadra bunky. Účinkami nízkoteplotnej atmosférickej plazmy na eukaryotických bunkách sa zaoberalo len niekoľko vedcov, z ktorých niektorí pozorovali rôzne správanie buniek po



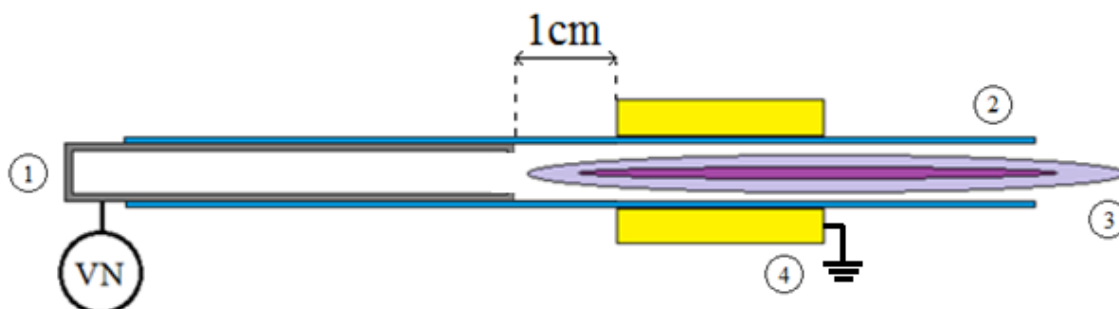
aplikácii plazmy v závislosti od výkonu a času opracovania. Pozorovali pokles migrácie a delenia buniek, u niektorých typov buniek aj apoptózu alebo nekrózu. Nekróza sa definuje ako nenaprogramovaná bunková smrť v živom tkanive vedúca k zápalu následkom uvoľnenia intracelulárneho obsahu. Na rozdiel od nekrózy, apoptóza je naprogramovaný proces odumieraniu buniek, pričom v okolitom živom tkanive sa nepozoruje zápal. Rôzne skupiny vykonávali *in vitro* experimenty na fibroblastoch, endoteliálnych bunkách, bunkách vaječníkov, ľudských hepatocytoch a na bunkách hladkého svalstva [62-67].

Účinky studenej atmosférickej plazmy na zdravých bunkách cicavcov, vyvolali záujem výskumníkov o použitie plazmy aj na rakovinové bunky. Konvenčné terapie nádorových ochorení sú založené na odstránení nádoru, chemoterapie alebo rádioterapie, avšak niektoré typy rakoviny zostávajú ťažko odstrániteľné a vyliečiteľné. Systematická chemoterapia vyvoláva apoptózu buniek [68,69]. Tieto lieky majú tendenciu ovplyvňovať nielen rakovinové bunky, ale aj všetky bunky v tele. Ako vedľajší účinok chemoterapie je aj nezanedbateľné množstvo poškodených zdravých buniek, ktoré obklopujú samotný nádor. Jedným z možných riešení, ako obmedziť poškodenie zdravých buniek, je ožarovanie rakovinových buniek plazmou. V poslednom desaťročí významným smerom v lekárske je skúmanie liečenia nádorových ochorení plazmou. Účinky nízkoteplotnej plazmy ako zdroja excitovaných častíc a iónov na inaktiváciu rakovinových buniek boli publikované vo viacerých článkoch [26, 70-73].

## **APPJ na báze DBD výboja v argóne**

Na základe existujúcich APPJ sme si vytýčili za úlohu skonštruovať nový APPJ na báze argónu s nízkou spotrebou plynu a elektrickej energie, ktorý by bol vhodný na biologické príp. technologické aplikácie. Prvý skonštruovaný typ APPJ bol argónový jet na báze DBD (Obrázok 2 a 3). Elektrický výboj bol zapálený v prúdiacom argóne (čistota 99.996%) v sklenenej kapiláre s vonkajším priemerom 0.8 mm a vnútorným priemerom 0.55 mm. Vo vnútri kapiláry sa nachádzala vnútorná elektróda, ktorú tvorí lekárska ihla s vonkajším priemerom 0.5 mm a vnútorným priemerom 0.2 mm a bolo na ňu privedené striedavé elektrické napätie (6-8 kV a 12 kHz). Uzemnenú elektródu tvoril medený valec (vnútorný priemer 0.85 mm, vonkajší priemer 5 mm, dĺžka valca 8 mm) okolo kapiláry. Uzemnená elektróda sa nenachádzala priamo okolo vysokonapäťovej elektródy ale bola voči nej posunutá o 1 cm v smere prúdenia Ar (Obrázok 2). Kvôli bezpečnosti práce, ochrane pred vysokými napätiami a potrebe elektrickej izolácie, ako i z dôvodu zabránenia poškodenia

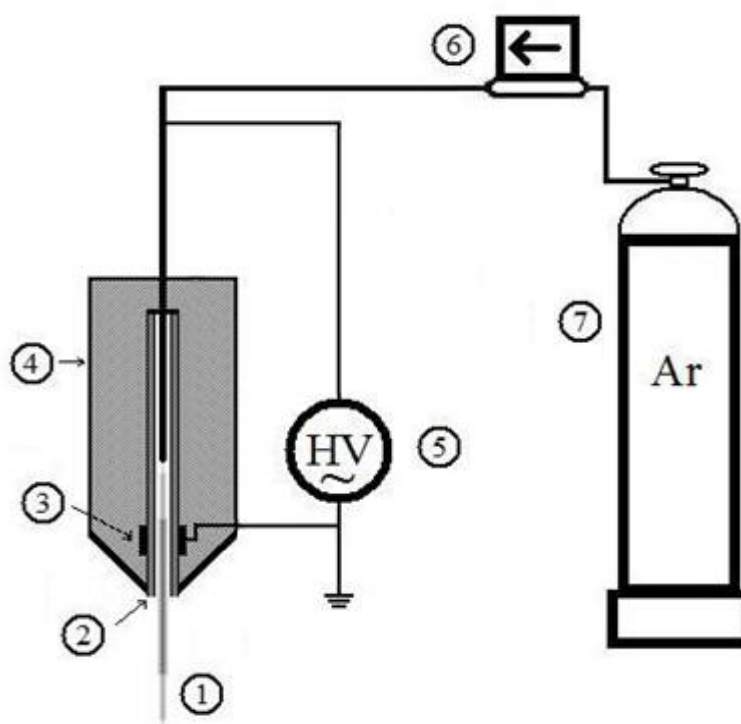
elektrod a kapiláry bola sústava umiestnená v teflónovom obale. Podrobnejšia schéma experimentálnej aparatury je znázornená na obrázku 3 a samotný plazma jet na obrázku 4.



**Obrázok 2:** 1) vysokonapäťová elektróda - lekárska ihla, 2) sklenená kapilára, 3) vyfukovaná plazma, 4) uzemnený medený valec ako vonkajšia elektróda.

### Napäťový zdroj:

Na zapálenie elektrického výboja bol použitý vysokonapäťový zdroj, ktorý pozostával z oscilátora Farnell, akustického zosilňovača EP2000 a vysokonapäťového (VN) transformátora (Obrázok 5). Frekvencia striedavého napätia bola nastavená na 12 kHz (kvôli rezonančnej frekvencii obvodu) pri elektrickom napätí 6-8 kV (peak to peak). Elektrické parametre výboja boli merané vysokonapäťovou (Tektronix P6015A) a prúdovou (Pearson 2877) sondou a zobrazované osciloskopom (Tektronix TDS 3032). Prietoková rýchlosť argónu bola nastavená pomocou regulátora prietoku MKS v rozmedzí 100-400 mL.min<sup>-1</sup>.



**Obrázok 3:** Schéma experimentálnej aparatury 1- plazma jet, 2- sklenená kapilára, 3- uzemnená vonkajšia elektróda medený valec, 4- ochranný obal z teflónu, 5- generátor vysokého napätia, 6- regulátor prietokovej rýchlosti – MKS, 7- fľaša s plynom.



**Obrázok 4:** Plazma jet s teflonovým obalom pred a počas aplikácie.



**Obrázok 5:** Konštrukcia HV zdroja – Farnell oscillator lfm4, zosilňovač EP2000, vysokonapäťový transformátor

Na identifikáciu excitovaných častíc plazmy a na určenie vibračnej a rotačnej teploty častíc sme používali monochromátor Jobin Yvon TRIAX 550. Optické emisné spektrá plazmového lúča boli merané radiálne aj axiálne. Emitované žiarenie z plazmy bolo privedené do monochromátora pomocou optického vlákna, ktoré bolo umiestnené kolmo na os plazmového lúča vo vzdialenosti 5 mm. Pomocou XY-ového posuvu bolo možné nastaviť polohu optického vlákna a tým určiť aj vlastnosti plazmy z jednotlivých regiónov plazmového lúča.

### **Príprava biologických vzoriek - Kvasinky**

Modelovým biologickým materiálom na skúmanie vplyvu plazmy boli vybrané kvasinkové bunky z rodu *Candida albicans* (CCY 29-3-32). Vzorky nám pripravila RNDr. Eva Machová, PhD. na Chemickom ústave SAV. Zamrazené bunky *C. albicans* boli oživené

pomocou preočkovania na YPD agar (Yeast Extract Peptone Dextrose Agar – dodávaný od Sigma Aldrich) ktorý bol pripravený na Petriho miskách. Vypestované bunky boli po 24 hodinách prenesené do YNB - (Yeast Nitrogen Base) média, ktoré bolo obohatené glukózou (0,9 %), a následne kultivované 30 hodín pri 28 °C. Rastové médium bolo po kultivácii odstránené odstredovaním a kvasinkové bunky boli premyté pomocou PBS – (Phosphate Buffered Saline). Vzorky sa pripravili tromi rôznymi spôsobmi - vo forme adherovaných kvasiniek, vo forme suspenzie a nanesením na agarový substrát.

### **Adherované kvasinky**

Na dno 96 jamkovej polystyrénovej platničky (dodávateľ – Sigma Aldrich) boli adherované bunky kvasinky *C. albicans*. Takáto príprava buniek predstavuje súvislú vrstvu kvasiniek dôsledkom čoho je kvantifikácia počtu buniek nemožná. V skutočnosti sa však práve takéto formy kvasiniek vyskytujú v organizme človeka napríklad na slizniciach. Počas premývania sa z povrchu adherovanej vrstvy môže odplaviť isté množstvo buniek, čím je ovplyvnený výsledok pri kvantifikácii. Pri prenose vzoriek bolo nutné napipetovať do každej jamky 100 µL roztoku PBS, aby sa kvasinky nevysušili. Pred plazmovým pôsobením bol roztok PBS odstránený len z opracovanej vzorky, ostatné vzorky ostali zakryté. Po ukončení plazmovej úpravy bol ku vzorke znovu pridaný roztok PBS a tento postup sa zopakoval pri každej opracovanej vzorke. Následne boli platničky so vzorkami analyzované na Chemickom ústave SAV, kde boli vyhodnotené XTT testom. Táto metóda sa používa pri skúmaní húb a kvasiniek a je založená na oxidačno-redukčných reakciách v živých bunkách [74]. Využívala sa vlastnosť tetrazóliového farbiva (2,3-bis (2-methoxy-4-nitro-5 sulfophenyl-5 [(phenylamino)carbonyl]-2H-tetrazolium hydroxide), ktorý je redukovaný na červený formazán mitochondriálnou dehydrogenázou metabolicky aktívnymi kvasinkovými bunkami [74]. Množstvo uvoľneného formazánu bolo merané pri vlnovej dĺžke 490 nm spektrofotometricky. Neošetrené vzorky slúžili ako pozitívne kontroly. Počet živých buniek závisí od nameraného kolorimetrického signálu lineárne [75].

### **Suspenzia kvasiniek**

Vzorky suspenzie *C. albicans* boli pripravené s koncentráciou  $3 \cdot 10^6$  CFU.mL<sup>-1</sup> (CFU-Colony Forming Unit) v uzavretých skúmavkách. Pred napipetovaním 30 µL suspenzie na platničky (ako pri adherovaných bunkách) sme skúmavku dôkladne pretrepali. Podobne ako pri adherovaných vzorkách, každú jamku so suspenziou sme opracovali jednotlivo, pričom plazmový lúč bol umiestnený kolmo na vzorku nasmerovaný do stredu jamky. Po aplikácii plazmy boli opracované vzorky zaslané na Chemický ústav SAV. Životaschopnosť buniek bola meraná spektrofotometricky pomocou XTT po dvoch hodinách od plazmového ošetrenia.

## Kvasinky na agarovom substráte

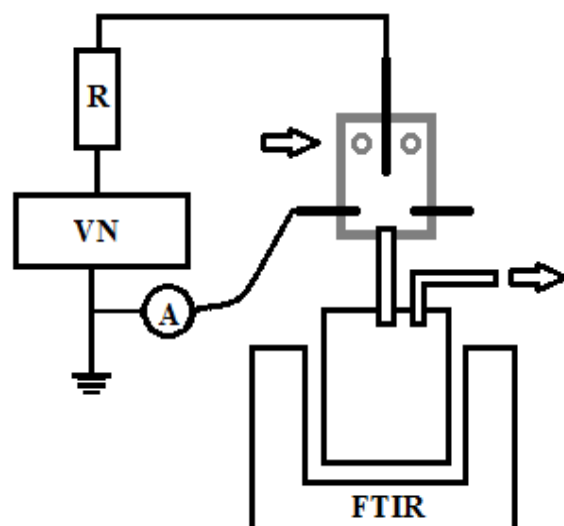
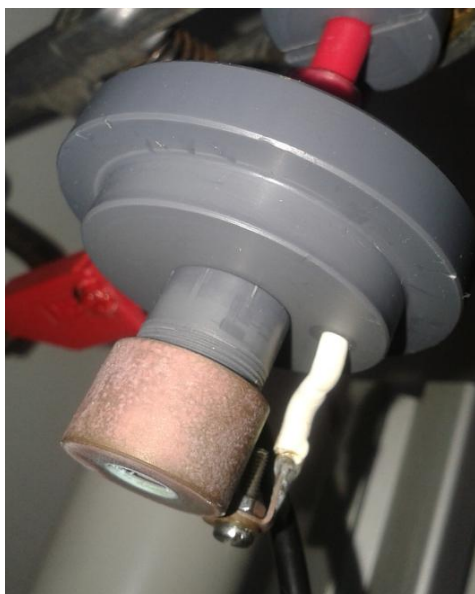
Do Petriho misky so stuhnutým agarom (výška agarovej vrstvy 2 mm) boli pomocou pipety nanosených 5 kvapiek suspenzie kvasiniek a PBS ( $100 \mu\text{L}$ , koncentrácia  $3.10^6 \text{ CFU.mL}^{-1}$ ). Následne boli vzorky opracované plazmou. Po opracovaní vzorky sa umiestnili do inkubačnej nádoby na 48 hodín pri teplote  $37 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vzorky boli vyhodnotené meraním inhibičnej zóny na agarovom povrchu digitálnym mikrometrom. Namerané hodnoty z 10-tich meraní boli štatisticky spracované.

## Pôsobenie modifikovaného argónového APPJ na deionizovanú vodu

Prvou aplikáciou modifikovaného APPJ bolo jeho pôsobenie na vzorky deionizovanej vody (DV). Vzorky DV boli pripravené v sklenených nádobkách s objemom 2 ml. Vzďialenosť konca kapiláry od hladiny DV bola nastavená na 20 mm. Plazma bola generovaná pri prietokovej rýchlosti argónu 100 sccm a elektrickom napätí 4.2 kV. Vzorky DV boli vystavené plazme 10, 20 a 40 minút. Po opracovaní bola stanovená koncentrácia záporných iónov ( $\text{NO}_2^-$  a  $\text{NO}_3^-$ ) vytvorených v DV pomocou mikročipovej kapilárnej elektroforézy s vodivostnou detekciou (s dvomi separačnými metódami CZE a ITP-CZE).

## Korónový výboj

Okrem interakcie argónového APPJ s vodou, sme študovali i interakciu záporného korónového výboja s vodou. Za tým účelom bol skonštruovaný reaktor so záporným korónovým výbojom, ktorého úlohou bolo generovať vyššie koncentrácie  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NO}_2^-$  v DV.

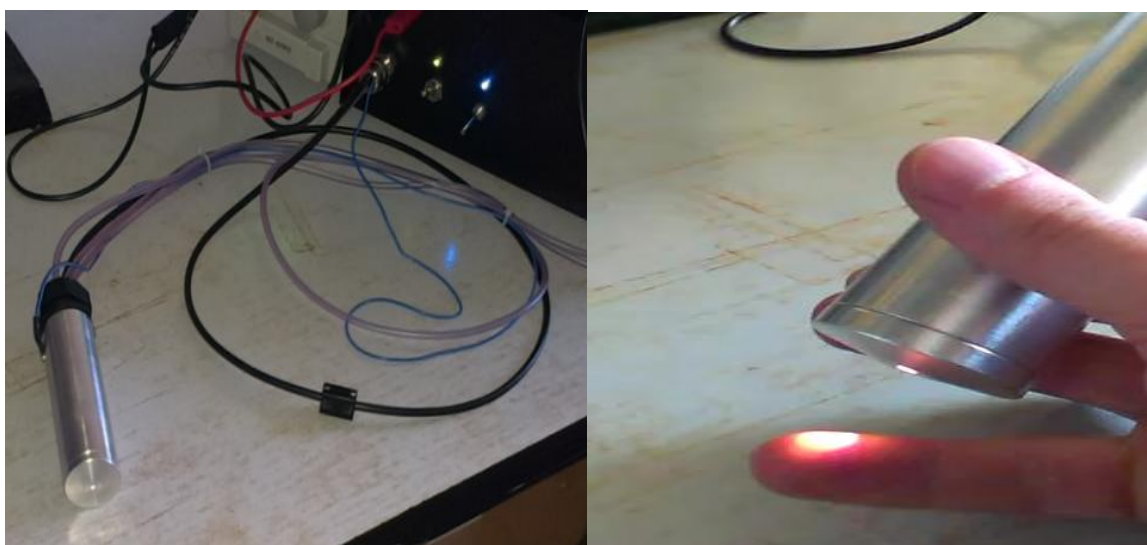


**Obrázok 6:** Ľavý obrázok znázorňuje uzemnený mosadzný prstenec so sivým vrchom nádoby slúžiacej pri meraní FTIR spektier. Na pravom obrázku je znázornené elektrické zapojenie výboja (šípky znázorňujú smer prúdenia vzduchu).

Záporný korónový výboj bol v konfigurácii hrot rovina, pričom hrotová elektróda bola vyrobená z tenkého wolfrámového drôtu (priemer 125  $\mu\text{m}$ ) a rovinná elektróda bola tvorená mosadzným prstencom. Vzorky sme generovali v zápornej polarite pri konštantnom elektrickom prúde 300  $\mu\text{A}$  a napätí 5.5 kV. Medzielektrodová vzdialenosť bola nastavená na 5 mm. Schéma experimentálnej aparatury je znázornená na obrázku 6. Na identifikáciu excitovaných a neutrálnych častíc sme opäť použili FTIR a OES spektroskopiu. Na generáciu  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NO}_2^-$  v DV bol použitý podobne ako argónový APPJ aj záporný korónový výboj. Prívod aktívnych častíc plazmy z korónujúcej vrstvy do DV bol zabezpečený elektrónovým vetrom. Vzdialenosť medzi uzemnenou elektródou a hladinou DV bola nastavená na 28 mm. Vzorky DV boli opracované v podobných časových intervaloch ako v prípade APPJ, čiže 10, 20 a 40 minút a vyhodnotené metódou ITP-CZE.

### APPJ na báze iskrového výboja

V rámci dizertačnej práce okrem argónového APPJ sme zostrojili aj plazma jet na báze iskrového výboja generovaného vo vzduchu (Obrázok 7). Plazma v tomto APPJ bola generovaná medzi dvomi hrotovými kovovými elektródami, ktoré boli umiestnené v keramickej rúrke. Medzielektrodová vzdialenosť bola nastavená na 2.5 mm. Na jednu elektródu bolo privedené DC napätie 7 kV a druhá bola uzemnená. Na vyfukovanie plazmy z keramickej rúrky sme použili kompresor, ktorý zabezpečil prietok vzduchu 3000 sccm. Chladenie elektród bolo zabezpečené minerálnym olejom. Vo vzdialenosti 10 mm od konca konštrukcie mala vyfukovaná plazma teplotu pod 37 °C pri výkone 30W. Prítomnosť ozónu ( $\text{O}_3$ ) nebola potvrdená vo FTIR spektre. Koncentrácia NO bola stanovená porovnaním



**Obrázok 7:** Konštrukcia APPJ generovaného iskrovým výbojom vo vzduchu.

simulovaného absorpčného spektra (z databázy HITRAN [76]) s experimentálnym. Pri výkone 30W koncentrácia NO dosahovala 100 ppm a pri 40W až 300 ppm.

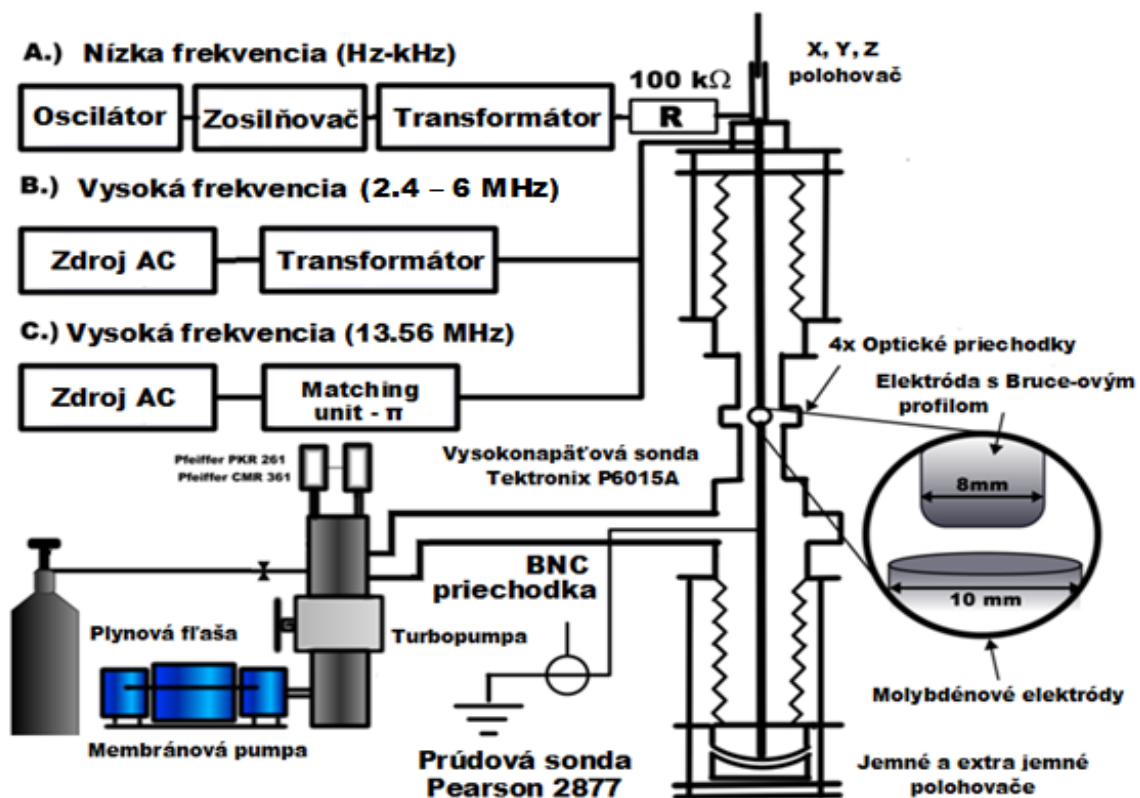
Plazma generovaná iskrovým výbojom vo vzduchu sme v spolupráci s Mgr. Andreou Šoltýsovou, PhD. (Katedrou Molekulárnej Biológie Prírodovedeckej Fakulty UK) aplikovali na opracovávanie ľudských buniek (zdravé, rakovinové a kmeňové). Objektom záujmu bolo pôsobenie plazmy na také biologické procesy ako apoptóza a nekróza buniek. V týchto experimentoch bola plazma z iskrového APPJ aplikovaná na tri rôzne druhy buniek pripravených v plastových miskách. Študoval sa účinok plazmy na kožné rakovinové bunky (A375), na zdravé kožné bunky (HaCaT) a na kmeňové mezenchymálne bunky (MSC) izolované z tukového tkaniva. Vzorky boli pripravené v platničkách, ktoré obsahovali 24 jamiek a boli naplnené roztokom PBS (Phosphate Buffered Saline). Iskrový APPJ bol nastavený kolmo na hladinu PBS vo vzdialenosti 15 mm. Kontrolné vzorky boli neopracované, alebo opracované len prúdom vzduchu 120 s. Opracovanie plazmou trvalo od 30 do 120 sekúnd.

### **Príprava a vyhodnotenie vzoriek**

Vzorky boli pripravené a vyhodnotené Mgr. Andreou Šoltýsovou, PhD. Všetky tri druhy buniek boli kultivované v médiu DMEM (Dulbecco's Modified Eagle Medium) 24 hodín. Pred opracovaním plazmou sa médium odstránilo (odsalo) a k bunkám bolo pridané 500  $\mu$ L PBS (Phosphate Buffered Saline). Po ukončení aplikácie plazmy bolo PBS odstránené a k bunkám bolo znova pridané čisté médium DMEM. Následne boli vzorky umiestnené na 48 hodín do termostatu na 37 °C s 5% CO<sub>2</sub> atmosférou. Po 48 hodinách bolo médium odstránené a k bunkám sa pridal trypsín, ktorý uvoľní adherentné bunky z misky. Po dvoch minútach bol trypsín zneutralizovaný DMEM mediom. Bunky prenesené do centrifugačnej skúmavky boli následne centrifugované 5 minút pri 300x g. K peletu buniek sa pridal verzén, v ktorom sa bunky rozsuspendovali. Následne sa bunky opäť centrifugujú 5 minút pri 300x g. Supernatant sa opäť odstránil a k peletu bol pridaný čistý verzén. Tento krok sa opakoval ešte dva-krát. Po ďalšej centrifugácii sa verzén odstránil, k bunkám bol pridaný čistý a proces sa opakoval znova, aby došlo k úplnému odstráneniu DMEM a trypsínu. Pri poslednom premytí verzénom sa k bunkám za stáleho vortexovania pridal ľadový 96% etanol. Bunky boli následne inkubované na ľade a po 30 minútach centrifugované 5 minút pri 500x g pri 4 °C. Po centrifugácii sa zo supernatanu odoberalo také množstvo, aby ostalo 100  $\mu$ L v ktorom sa bunky rozsuspendovali. Následne sa k bunkám pridala RNáza a propidium jodid (C<sub>27</sub>H<sub>34</sub>I<sub>2</sub>N<sub>4</sub>), pomocou ktorého sa určili nekrotické/apoptotické (poškodené) a zdravé bunky. Takto pripravené bunky už môžu byť vyhodnotené prietokovou cytometriou [77-80].

## Mikrovýboje

Dôležitým parametrom APPJ je zápalné napätie elektrického výboja. Hodnota zápalného napätia výboja závisí od viacerých parametrov, ako je tlak a druh plynu, medzielektródová vzdialenosť, alebo budiaca frekvencia striedavého napätia. Zápalné napätie výboja je veľmi dobre popísané Paschenovým zákonom [81], ale jeho platnosť a použiteľnosť je ohraničená [82-85]. Pri veľmi malej ( $\sim \mu\text{m}$ ) medzielektródovej vzdialenosti významnú rolu hrá aj iónmi asistovaná emisia poľom alebo autoemisia elektrónov, čo spôsobuje, že pri mikrovýbojoch dochádza k deformovaniu Paschenovej krivky pre malé hodnoty  $p.d$ . Kvôli overeniu hraníc platnosti Paschenovho zákona pre vysoké tlaky a malé vzdialenosti elektród (mikrovýboje pri vysokých tlakoch) sme zostrojili experiment zameraný na štúdium uvedeného problému. Experiment pozostával z vákuovotesnej komory s planparalelnými elektródami (Obrázok 8). Kvôli zabezpečeniu planparalelnosti elektród pri mikrometrickej vzdialenosti bolo nevyhnutné aby elektródy boli dostatočne hladké a nastaviteľné s vysokou presnosťou.



Obrázok 8: Schéma experimentálnej aparatury s elektrickým príslušenstvom a s vákuovou technikou.

Pri štúdiu platnosti Paschenovho zákona sme sa zamerali na určenie zápalných napätí mikrovýbojov v závislosti od tlaku plynu (150 - 930 mbar), vzájomnej vzdialenosti elektród (5  $\mu\text{m}$  - 100  $\mu\text{m}$ ) a budiacej frekvencie DC a AC (100 Hz - 13,56 MHz) v rôznych plynch



(Ar, H<sub>2</sub>, vzduch, vodná para). Vyššie uvedené parametre boli blízke k parametrom argónovému APPJ (9 kHz, atmosférický tlak, ~ 500 μm) a predpokladá sa podobný mechanizmus pri zapálení výboja. Treba však brať do úvahy nehomogénnosť elektrického poľa v APPJ ktoré trochu skreslí Paschenovu krivku [84]. Preto určené hodnoty zápalných napätí mikrovýbojov sú len orientačné pre APPJ. Pomocou Volt-Ampérových charakteristík a z priebehov napät'ovej a prúdovej krivky boli popísané aj mechanizmy zapálenia výboja. Zistilo sa, že zápalné napätie mikrovýbojov s rastúcou frekvenciou klesá, ióny už nestíhajú dopadnúť na steny elektród a začnú oscilovať v medzielektrodovom priestore. Pri vzdialenostiach pod 10 μm môže elektrické pole vytvorené iónmi prispievať k emisii elektrónov pomocou elektrického poľa, kvôli čomu ľavá strana Paschenovej krivky bude deformovaná. Podrobnejšie informácie k daným experimentom je možné nájsť v rigoróznej práci [85].

## Záver

V dizertačnej práci sme študovali štyri rôzne zdroje atmosférickej plazmy, ktoré boli vyvinuté na našom pracovisku. Ako prvému sme sa venovali vývoju argónového APPJ s nízkou spotrebou pracovného plynu. V tomto prípade sa nám podarilo skonštruovať APPJ s nízkymi prietokmi rýchlost'ami až do hodnoty 100 mL/min, ktorú sme po ďalšej modifikácii konštrukcie znížili až na 40 mL/min. Účinnosť plazmy ohľadom inaktivácie mikroorganizmov sme overovali na kvasinkách *Candida albicans*, ktoré boli pripravené v troch rôznych formách. Výsledky potvrdili dekontaminačný účinok plazmy vo všetkých troch prípadoch. Po 60 sekundovej aplikácii plazmy koncentrácia živých kvasiniek v suspenzii poklesla o päť rádoov. Inhibičná zóna na agarovom substráte predstavovala viac než sto násobok účinného prierezu plazmového lúča po 60 sekundovej aplikácii plazmy.

Argónový APPJ sme použili aj na štúdium interakcie plazmy s deionizovanou vodou, pričom sme sa zaoberali vplyvom plazmy na vznik NO<sub>2</sub><sup>-</sup> a NO<sub>3</sub><sup>-</sup> iónov vo vode. Koncentrácie iónov NO<sub>2</sub><sup>-</sup> a NO<sub>3</sub><sup>-</sup> vo vode sme určovali metódou kapilárnej elektroforézy. Maximálne hodnoty koncentrácií iónov dosahovali 15 respektíve 30 mg/L. Podobnú štúdiu sme vykonali i pre záporný korónový výboj, ktorý sme použili ako alternatívny zdroj reaktívnych častíc k argónovému APPJ, generujúci záporné ióny vo vode. Koncentrácie NO<sub>2</sub><sup>-</sup> a NO<sub>3</sub><sup>-</sup> vo vode boli podobné ako pri argónovom APPJ, dosahovali hodnotu 21 respektíve 23 mg/L.

Ďalší študovaný zdroj plazmy bol APPJ na báze iskrového výboja generovaného na vzduchu. Spektroskopické merania FTIR potvrdili vysokú koncentráciu NO (100-300 ppm)

v plazme v závislosti od dodávaného výkonu. Vytvorená plazma bola použitá na opracovanie zdravých, rakovinových a kmeňových ľudských buniek. Opracované vzorky boli vyhodnotené prietokovou cytometriou. Výsledky potvrdili pozitívny účinok plazmy na apoptózu respektíve nekrózu rakovinových buniek a poskytli aj informáciu o časovom obmedzení opracovania. Po 30 sekundách pôsobenia plazmy na rakovinové bunky počet poškodených buniek narástol na dvojnásobok v porovnaní s neopracovanými vzorkami. Po jednej minúte sa tento počet zvýšil na štvornásobok. Aplikácia vzduchového APPJ bola časovo obmedzená na jednu minútu, po dlhšom aplikačnom čase počet poškodených buniek mierne narástol len u zdravých a kmeňových buniek.

Posledným študovaným zdrojom plazmy boli mikrovýboje generované v argóne, vo vodíku, vo vzduchu a vo vodných parách. Plazma bola generovaná medzi planparalelnými elektródami pri tlakoch plynu 150-930 mbarov. Medzielektrodová vzdialenosť bola nastavená od 5 do 100  $\mu\text{m}$ . Skúmali sme zápalné napätie mikrovýbojov v závislosti od budiacej frekvencie (100 Hz – 13.56 MHz). Výsledky potvrdili pokles zápalného napätia mikrovýbojov s rastúcou budiacou frekvenciou. Zamerali sme sa aj na overenie Paschenovho zákona na mikrometrických vzdialenostiach. Pri vzdialenostiach pod 10  $\mu\text{m}$  elektrické pole vytvorené iónmi prispieva k emisii elektrónov pomocou elektrického poľa, ako dôsledok tohto javu je deformovanie ľavej strany Paschenovej krivky.

Skonstruované APPJ môžu byť považované za vhodné zdroje aktívnych častíc, ktoré sa dajú používať v biologických, medicínskych a potenciálne i technologických aplikáciách. Výhodou týchto zdrojov je nízka spotreba pracovného plynu, poprípade využitie vzduchu ako pracovného plynu a tým pádom sú aj ekonomicky veľmi výhodné. Výskum zameraný na štúdium mikrovýbojov prispieva k pochopeniu procesov prebiehajúcich pri zapálení výboja pri mikrometrických vzdialenostiach a získané poznatky môžu byť použité pri návrhu nových zdrojov APPJ.

## Literatúra

- [1] G. Fridman, A.B. Shekhter, V.N. Vasilets, G. Friedman, A. Gutsol, and A. Fridman, "Applied Plasma Medicine," *Plasma Processes and Polymers* 5 (6), 503-533 (2008).
- [2] Laroussi M and Lu X. Room-temperature atmospheric pressure plasma plume for biomedical applications. *Appl. Phys. Lett.*, 87(11):, 2009.
- [3] Laroussi M. Low-temperature plasmas for medicine? *IEEE Trans. Plasma Sci.*, 37(6):, 2009.
- [4] Laroussi, M. and T. Akan, Arc-Free Atmospheric Pressure Cold Plasma Jets: A Review. *Plasma Process. Polym.*, 2007. 4: p. 777-788.
- [5] Schütze, A., et al., The Atmospheric-Pressure Plasma Jet: A Review and Comparison to Other Plasma Sources. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 1998. 26(6): p. 1685-1684.
- [6] Laimer, J. and H. Störi, Recent Advances in the Research on Non-Equilibrium Atmospheric Pressure Plasma Jets. *Plasma and Fusion Research: Rapid Communications*, 2007. 4: p. 266-274.
- [7] Kogelschatz, U., Applications of Microplasmas and Microreactor Technology. *Contrib. Plasma Phys.*, 2007. 47(1-2): p. 80-88.
- [8] Coulombe, S., et al., Miniature atmospheric pressure glow discharge torch (APGD-t) for local biomedical applications\*. *Pure Appl. Chem.*, 2006. 78(6): p. 1147-1156.
- [9] Teschke M, Kedzierski J, Finantu-Dinu E G, Korzec D, and Engemann J. High-speed photographs of a dielectric barrier atmospheric pressure plasma jet. *IEEE Trans. Plasma Sci.*, 33(2):310{311, 2005. ISSN 0093-3813.
- [10] Lu X P, Jiang Z H, Xiong Q, Tang Z Y, Hu X W, and Pan Y. An 11 cm long atmospheric pressure cold plasma plume for applications of plasma medicine. *Appl. Phys. Lett.*, 92:081502, 2008.
- [11] Karakas E, Koklu M, and Laroussi M. Correlation between helium mole fraction and plasma bullet propagation in low temperature plasma jets. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 43:155202, 2010.
- [12] Li Q, Li J T, Zhu W C, Zhu X M, and Pu Y K. Effects of gas flow rate on the length of atmospheric pressure nonequilibrium plasma jets. *Appl. Phys. Lett.*, 95(14):141502, 2009. ISSN 0003-6951.
- [13] Xiong Q, Lu X, Ostrikov K, Xiong Z, Xian Y, Zhou F, Zou C, Hu J, Gong W, and Jiang Z. Length control of He atmospheric plasma jet plumes: Effects of discharge parameters and ambient air. *Physics of Plasmas*, 16:043505, 2009.
- [14] Ye R and Zheng W. Temporal-spatial-resolved spectroscopic study on the formation of an atmospheric pressure microplasma jet. *Appl. Phys. Lett.*, 93:071502, 2008.
- [15] Kong M G, Kroesen G, Moril G, Nosenko T, Shimizu T, Dijk J, and Zimmermann J L. Plasma medicine: an introductory review. *New J. Phys.*, 11:115012, 2009.
- [16] J. Schäfer, F. Sigener, R. Foest, D. Loffhagen, and K.-D. Weltmann *Eur. Phys. J. D* (2010)
- [17] T.-L. Sung, et al., *Surf. Coat. Technol.* (2010).
- [18] Y. Kubota et al. *J. Plasma Fusion Res. SERIES*, Vol. 8 (2009).
- [19] R. Foest et al. *Plasma Process. Polym.* 2007, 4, S460–S464
- [20] M. Moravej et al. *Plasma Sources Sci. Technol.* 15 (2006) 204–210
- [21] Sarani, Nikiforov, and Leys *Phys. Plasmas* 17, 063504 (2010).
- [22] Stoffels, E., et al., *Plasma needle: a non-destructive atmospheric plasma source for fine surface treatment of (bio)materials*. *Plasma Sources Sci. Technol.*, 2002. 11: p. 383-388.
- [23] J. F. Kolb, A.-A. H. Mohamed, R. O. Price, R. J. Swanson, A. Bowman, R. L. Chiavarini, M. Stacey, and K. H. Schoenbach, "Cold atmospheric pressure air plasma jet for medical applications," *Appl. Phys. Lett.* 92 (24), 241501-241501–241501-241503 (2008).
- [24] G. Fridman, A. Shereshevsky, M. Jost, A. Brooks, A. Fridman, A. Gutsol, V. Vasilets, and G. Friedman, "Floating Electrode Dielectric Barrier Discharge Plasma in Air Promoting Apoptotic Behavior in Melanoma Skin Cancer Cell Lines," *Plasma Chemistry and Plasma Processing* 27 (2), 163-176 (2007).
- [25] M. Cooper, Y. Yang, D. Dobrynin, H. Ayan, A. Fridman, A. Gutsol, V. Vasilets, and G. Fridman, "Observations of Filament Behavior and Plasma Uniformity in Continuous and Pulsed Dielectric Barrier Discharges", in *Drexel University Ninth Annual Research Innovation Scholarship and Creativity (RISC) Day* (Philadelphia, USA, 2007).
- [26] G. Fridman, et al., "Blood coagulation and living tissue sterilization by floating-electrode dielectric barrier discharge in air," *Plasma Chemistry and Plasma Processing* 26 (4), 425-442 (2006).
- [27] G. Fridman, A.D. Brooks, M. Balasubramanian, A. Fridman, A. Gutsol, V.N. Vasilets, H. Ayan, and G. Friedman, , "Comparison of Direct and Indirect Effects of Non-Thermal Atmospheric Pressure Plasma on Bacteria," *Plasma Processes and Polymers* 4, 370-375 (2007).
- [28] T Shimizu, B Steffes, R Pompl, F Jamitzky, W Bunk, K Ramrath, M Georgi, W Stolz, HU Schmidt, and T Urayama, "Characterization of Microwave Plasma Torch for Decontamination," *Plasma Processes and Polymers* 5 (6), 577-582 (2008).

- [29] H. J. Lee, C. H. Shon, Y. S. Kim, S. Kim, G. C. Kim, and M. G. Kong, "Degradation of adhesion molecules of G361 melanoma cells by a non-thermal atmospheric pressure microplasma," *New J. Phys.* **11**, 115026 (115013 pp.) (2009).
- [30] A. Shashurin, M. Keidar, S. Bronnikov, R. A. Jurjus, and M. A. Stepp, "Living tissue under treatment of cold plasma atmospheric jet," *Appl. Phys. Lett.* **93** (18), 181501-181501–181501-181503 (2008).
- [31] S. Rupf, A. Lehmann, M. Hannig, B. Schäfer, A. Schubert, U. Feldmann, and A. Schindler, "Killing of adherent oral microbes by a non-thermal atmospheric plasma jet," *J. Med. Microbiol.* **59** (2), 206–212 (2010).
- [32] M. Kuchenbecker, N. Bibinov, A. Kaemling, D. Wandke, P. Awakowicz, and W. Viöl, "Characterization of DBD plasma source for biomedical applications," *J. Phys. D, Appl. Phys.* **42** (4), 045212 (045210 pp.) (2009).
- [33] E. Robert, E. Barbosa, S. Dozias, M. Vandamme, C. Cachoncinlle, R. Viladrosa, and J. M. Pouvesle, "Experimental study of a compact nanosecond plasma gun," *Plasma Process. Polym.* **6** (12), 795–802 (2009).
- [34] M. Moisan, J. Barbeau, S. Moreau, J. Pelletier, M. Tabrizian, and L. 'H. Yahia, "Low-temperature sterilization using gas plasmas: A review of the experiments and an analysis of the inactivation mechanisms," *Int. J. Pharm.* **226** (1/2), 1–21 (2001).
- [35] M. Laroussi, "Nonthermal decontamination of biological media by atmospheric-pressure plasmas: Review, analysis, and prospects," *IEEE Trans. Plasma Sci.* **30** (4), 1409–1415 (2002).
- [36] M. Laroussi and Leipold F., "Evaluation of the roles of reactive species, heat, and UV radiation in the inactivation of bacterial cells by air plasmas at atmospheric pressure," *International Journal of Mass Spectrometry* **233** (1-3), 81-86 (2004).
- [37] MJ Gallagher, A Gutsol, A Fridman, G Friedman, and A Dolgopolsky, presented at the International Conference on Plasma Science, Baltimore, Maryland, 2004.
- [38] A Gutsol, N Vaze, K Arjunan, M Gallagher, Y Yang, J Zhu, V Vasilets, and A Fridman, presented at the NATO Advanced Study Institute (ASI), Plasma Assisted Decontamination of Biological and Chemical Agents, Çesme, Turkey, 2007.
- [39] M. J. Gallagher, N. Vaze, S. Gangoli, V. N. Vasilets, A. F. Gutsol, T. N. Milovanova, S. Anandan, D. M. Murasko, and A. A. Fridman, "Rapid Inactivation of Airborne Bacteria Using Atmospheric Pressure Dielectric Barrier Grating Discharge," *Plasma Science, IEEE Transactions on* **35** (5), 1501-1510 (2007).
- [40] R. Pompl, T. Shimizu, H.U. Schmidt, W. Bunk, F. Jamitzky, B. Steffes, K. Ramrath, B. Peters, W. Stolz, T. Urayama, R. Ramasamy, S. Fujii, and G.E. Morfill, presented at the 6th Int. Conf. Reactive Plasmas, Matsushima, Japan, 2006.
- [41] T. Shimizu, B. Steffes, R. Pompl, F. Jamitzky, W. Bunk, K. Ramrath, B. Peters, W. Stolz, H.U. Schmidt, T. Urayama, K. Fujioka, R. Ramasamy, S. Fujii, and G.E. Morfill, presented at the 6th Int. Conf. Reactive Plasmas, Matsushima, Japan, 2006.
- [42] E. Martines, M. Zuin, R. Cavazzana, E. Gazza, G. Serianni, S. Spagnolo, M. Spolaore, A. Leonardi, V. Deligianni, P. Brun, M. Aragona, and I. Castagliuolo, "A novel plasma source for sterilization of living tissues," *New Journal of Physics* **11** (2009).
- [43] S. Lerouge, M. R. Wertheimer, and L. H. Yahia, "Plasma Sterilization: A Review of Parameters, Mechanisms, and Limitations," *Plasmas and Polymers* **6** (3), 175-188 (2001).
- [44] R. Ben Gadri, J. R. Roth, T. C. Montie, K. Kelly-Wintenberg, P. P. Y. Tsai, D. J. Helfritch, P. Feldman, D. M. Sherman, F. Karakaya, and Z. Y. Chen, "Sterilization and plasma processing of room temperature surfaces with a one atmosphere uniform glow discharge plasma (OAUGDP)," *Surface & Coatings Technology* **131** (1-3), 528-542 (2000).
- [45] Masateru Nishioka Mitsuo Yamamoto, Masayoshi Sadakata, "Sterilization by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> droplets under corona discharge," *Journal of Electrostatics* **56**, 173–187 (2002).
- [46] M Moisan M K Boudam, B Saoudi, C Popovici, N Gherardi and F Massines, "Bacterial spore inactivation by atmospheric-pressure plasmas in the presence or absence of UV photons as obtained with the same gas mixture," *J. Phys. D: Appl. Phys.* **39**, 3494–3507 (2006).
- [47] Gregory Fridman Danil Dobrynin, Yurii V. Mukhin, Meghan A. Wynosky-Dolfi, and Richard F. Rest Judy Rieger, Alexander F. Gutsol, and Alexander Fridman, "Cold Plasma Inactivation of Bacillus cereus and Bacillus anthracis (Anthrax) Spores," *IEEE TPS* **38** (8), 1878-1884 (2010).
- [48] Olga Tarasenko Spencer P Kuo, Said Nourkhash, Assya Bakhtina and Kalle Levon, "Plasma effects on bacterial spores in a wet environment," *New Journal of Physics* **41** (8) (2006).
- [49] E. Stoffels, "Gas plasmas in biology and medicine," *Journal of Physics D: Applied Physics* **39** (16) (2006).
- [50] M. Laroussi, J. P. Richardson, and F. C. Dobbs, "Effects of nonequilibrium atmospheric pressure plasmas on the heterotrophic pathways of bacteria and on their cell morphology," *J. Appl. Phys.* **81** (4), 773–774 (2002).
- [51] Concia E, Azzini AM, Conti M. Epidemiology, incidence and risk factors for invasive candidiasis in high-risk patients. *Drugs* 2009;**69**:5-14.
- [52] Arendrup MC. Epidemiology of invasive candidiasis. *Curr Opin Crit Care* 2010; **16**:445-52.
- [53] Rowen JL. Mucocutaneous candidiasis. *Semin Perinatol* 2003;**27**:406-13.

- [54] Havlickova B, Czaika VA, Friedrich M. Epidemiological trends in skin mycoses worldwide. *Mycoses* 2008;**51**:2-15.
- [55] Hasan F, Xess I, Wang X, Jain N, Fries BC. Biofilm formation in clinical *Candida* isolates and its association with virulence. *Microbes Infect* 2009;**11**:753-61.
- [56] D'Enfert C. Biofilms and their role in the resistance of pathogenic *Candida* to antifungal agents. *Curr Drug Targets* 2006;**7**:465-70.
- [57] Ramage G, Tomsett K, Wickes BL, Lopez-Ribot JL, Redding SW. Denture stomatitis: a role for *Candida* biofilms. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004;**98**:53-9.
- [58] Ramage G, Martinez JP, Lopez-Ribot JL. *Candida* biofilms on implanted biomaterials: a clinically significant problem. *FEMS Yeast Res* 2006;**6**:979-86.
- [59] Bryers JD, Ratner BD. Bioinspired implant materials befuddle bacteria. *Asm News* 2004;**5**:232-7.
- [60] Ramage G, Wickes BL, Lopez-Ribot JL. Biofilms of *Candida albicans* and their associated resistance to antifungal agents. *Am Clin Lab* 2001;**20**:42-4.
- [61] Mukherjee PK, Chandra J. *Candida* biofilm resistance. *Drug Resist Updat* 2004;**7**:301-9.
- [62] Stoffels E: Plasma needle: Treatment of living cells and tissues, in Proc. San Francisco, CA: Gaseous Electron. Conf; 2003:**16**.
- [63] Yonson S, Coulombe S, Leveille V, Leask R: Cell treatment and surface functionalization using a miniature atmospheric pressure glow discharge plasma torch. *J.Phys. D, Appl. Phys* 2006, **39**(16):3508–3513.
- [64] Shashurin A, Keidar M, Bronnikov S, Jurjus RA, Stepp M: Living tissue under treatment of cold atmospheric jet. *Appl. Phys. Lett* 2008, **93**(no. 18):181–501.
- [65] Kieft IE, Kurdi M, Stoffels E: Reattachment and apoptosis after plasmaneedle treatment of cultured cells. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 2006, **34**(4):1331–1336.
- [66] Kieft IE, Darios D, Roks AJM, Stoffels E: Plasma treatment of mammalian vascular cells: a quantitative description. *IEEE Trans Plasma Sci* 2005, **33**:771–5.
- [67] Olga V, Mary Ann S, Michael K: ntegrin activation by a cold atmospheric plasma jet. *New Journal of Physics* 2012, **14**(16pp):053019.
- [68] Johnstone RW, Ruefli AA, Lowe SW *Apoptosis: a link between cancer genetics and chemotherapy.* (2002) *Cell* **108** (2):153-64.
- [69] Dee Unglaub Silverthorn WCO, Garrison CW, Silverthorn AC, Johnson BR (2004) *Human physiology, an integrated approach*, 3rd edn. Benjamin-Cummings Publishing Company, pp 912.
- [70] G. Fridman, A. Shereshevsky, M. Jost, A. Brooks, A. Fridman, A. Gutsol, V. Vasilets, and G. Friedman, "Floating Electrode Dielectric Barrier Discharge Plasma in Air Promoting Apoptotic Behavior in Melanoma Skin Cancer Cell Lines," *Plasma Chemistry and Plasma Processing* **27** (2), 163-176 (2007).
- [71] R. Sensenig, S. Kalghatgi, E. Cerchar, G. Fridman, A. Shereshevsky, B. Torabi, K. P. Arjunan, E. Podolsky, A. Fridman, G. Friedman, J. Azizkhan-clifford, A. D. Brooks *Annals of Biomedical Engineering*, Vol. **39**, No. 2, February 2011 (2010) pp. 674–687.
- [72] G.E. Morfill, M. G. Kong and J. L. Zimmermann *New Journal of Physics* **11** (2009) 115011.
- [73] C.-H. Kim, Ch.-H. Kima, J. H. Bahna, S.-H. Leea, G.-Y. Kima, S.-I. Junb, K. Leeb, S. J. Baeka, *Journal of Biotechnology* **150** (2010) 530–538.
- [74] Kuhn D.M. et. al. (2003). Uses and Limitations of the XTT Assay in Studies of *Candida* Growth and Metabolism. *J. Clin. Microbiol.*, **41**(1): pp. 506-508.
- [75] Hawser S., J. (1996) . Adhesion of different *Candida* spp. to plastic: XTT formazan determinations. *Med. Vet. Mycol.*, **34**: pp. 407-410.
- [76] HITRAN2012 *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, vol. **130**, pp. 4-50 (2013).
- [77] H.M SHAPIRO, *Practical flow cytometry*. 4th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2003. 681
- [78] J. DOLEŽEL, *Flow cytometry with plant cells : analysis of genes, chromosomes and genomes*. Weinheim: Wiley-VCH, 2007. 454 p.
- [79] J.P. ROBINSON, *Curent protocols in cytometry*. New Yourk: John Wiley & Sons, 1997.
- [80] M.G. MACEY, *Flow Cytometry: Principles and Applications*. Totowa, N.J: Humana Press 2007. 294 p.
- [81] A. von Engel, *Ionized Gases*, Clarendon, Oxford, 1965.
- [82] Boyle *Physical review*, **97**, (1955)
- [83] R. Hackham *J. Appl. Phys.*, **46**, 627-636,(1975).
- [84] Held, *J Phys. III France* **7**, (1997).
- [85] L. Moravský, *Štúdiu vlastností vysokotlakových mikrovýbojov budených NF a VF zdrojmi*, Rigorózná práca, Bratislava : Univerzita Komenského, 2014. 57s.

**UNIVERZITA KOMENSKÉHO  
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY**

**Zoznam publikačnej činnosti**

**RNDr. Ladislav Moravský**

**ADC Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch**

- ADC01 Horváth, Gabriel [UKOMFKEFd] (40%) - Mason, Nigel J. (12%) - Polachová, Lucie (12%) - Zahoran, Miroslav [UKOMFKEF] (12%) - Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (12%) - Matejčík, Štefan [UKOMFKEF] (12%): Packed bed DBD discharge experiments in admixtures of N<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>  
Lit. 54 zázň., 5 obr., 1 tab.  
In: Plasma Chemistry and Plasma Processing. - Vol. 30, No. 5 (2010), s. 565-577  
*Indikátor časopisu:*  
IF (JCR) 2010=1,798  
*Ohlasy (10):*  
[o1] 2011 Gautier, T. - Carrasco, N. - Buch, A. - Szopa, C. - Sciamma-O'Brien, E. - Cernogora, G.: Nitrite gas chemistry in Titan's atmosphere. In: Icarus, Vol. 213, No. 2, 2011, s. 625-635 - SCOPUS  
[o1] 2011 Ndiaye, A. A. - Lago, V.: Optical spectroscopy investigation of N<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> plasma jets simulating Titan atmospheric entry conditions. In: Plasma Sources Science and Technology, Vol. 20, No. 1, 2011, Art. No. 015015 - SCI ; SCOPUS  
[o1] 2012 Alves, L. L. - Marques, L. - Pintassilgo, C. D. - Wattiaux, G. - Es-Sebbar, E. - Berndt, J. - Kovacevic, E. - Carrasco, N. - Boufendi, L. - Cernogora, G.: Capacitively coupled radio-frequency discharges in nitrogen at low pressures. In: Plasma Sources Science and Technology, Vol. 21, No. 4, 2012, Art. No. 045008 - SCI ; SCOPUS  
[o1] 2012 Mahjoub, A. - Carrasco, N. - Dahoo, P. R. - Gautier, T. - Szopa, C. - Cernogora, G.: Influence of methane concentration on the optical indices of titan's aerosols analogues. In: Icarus, Vol. 221, No. 2, 2012, s. 670-677 - SCI ; SCOPUS  
[o1] 2012 Nijdam, S. - van, V. E. - Bruggeman, P. - Ebert, U.: An Introduction to Nonequilibrium Plasmas at Atmospheric Pressure. In: Plasma Chemistry and Catalysis in Gases and Liquids, 2012, s. 1-44 - SCOPUS  
[o1] 2013 Hubner, M. - Guaitella, O. - Rousseau, A. - Ropcke, J.: A spectroscopic study of ethylene destruction and by-product generation using a three-stage atmospheric packed-bed plasma reactor. In: Journal of Applied Physics, Vol. 114, No.3, 2013, Art. No. 033301 - SCI ; SCOPUS  
[o1] 2013 Snoeckx, R. - Setareh, M. - Aerts, R. - Simon, P. - Maghari, A. - Bogaerts, A.: Influence of N<sub>2</sub> concentration in a CH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub> dielectric barrier discharge used for CH<sub>4</sub> conversion into H<sub>2</sub>. In: International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 38, No. 36, 2013, s. 16098-16120 - SCI ; SCOPUS  
[o1] 2013 Wang, T. - Sun, B. M. - Xiao, H. P.: Characteristics and analysis of the mechanism of NO removal in dielectric barrier discharge plasma by hydrocarbons at varying temperatures. In: Plasma Chemistry and Plasma Processing, Vol. 33, No.1, 2013, s. 307-322 - SCI ; SCOPUS  
[o1] 2014 Thejaswini, H. C. - Peglow, S. - Sushkov, V. - Hippler, R.: Infrared spectroscopy of CH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub> and C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> (m = 2, 4, 6) gas mixtures in a dielectric barrier discharge. In: Plasma Chemistry and Plasma Processing, Vol. 34, No. 5, 2014, s. 1157-1170 - SCI ; SCOPUS  
[o1] 2015 Aerts, R. - Somers, W. - Bogaerts, A.: Carbon dioxide splitting in a dielectric barrier discharge plasma: A combined experimental and computational study. In: ChemSusChem, Vol. 8, No. 4, 2015, s. 702-716 - SCI ; SCOPUS
- ADC02 Horváth, Gabriel (30%) - Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (30%) - Krčma, František (20%) - Matejčík, Štefan [UKOMFKEF] (20%): Characterization of a low-cost kilohertz-driven plasma pen operated in ar gas  
Lit. 24 zázň., 8 obr., 2 tab.  
In: IEEE Transactions on Plasma Science. - Vol. 41, No. 3 (2013), s. 613-619  
*Indikátor časopisu:*  
IF (JCR) 2013=0,950
- ADC03 Klas, Matej [UKOMFKEF] (40%) - Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (30%) - Matejčík, Štefan

[UKOMFKEF] (10%) - Radjenović, Branislav (10%) - Radmilović-Radjenović, Marija (10%): Breakdown mechanism in hydrogen microdischarges from direct-current to 13.56 MHz  
Lit. 55 zázň., 8 obr.

In: Journal of Physics D - Applied Physics. - Vol. 48, No. 40 (2015), Art. No. 405204, s. 1-9

Registrowané v: wos, scopus

Ohlasy (1):

[o1] 2016 Xu, C. - Shen, P. - Chiu, Y. - Yeh, P. - Chen, C. - Chen, L. - Hsu, C. - Cheng, I. - Chen, J.: Atmospheric pressure plasma jet processed nanoporous Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CNT composites for supercapacitor application. In: Journal of Alloys and Compounds, Vol. 676, 2016, s. 469-473 - SCOPUS

ADC04 Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (40%) - Klas, Matej [UKOMFKEF] (20%) - Machová, Eva (20%) - Pisklová, Katarína (10%) - Matejčík, Štefan [UKOMFKEF] (10%): Influence of a plasma jet on the viability of *Candida albicans*

Lit. 22 zázň., 9 obr.,

In: Open Chemistry. - Vol. 13, No. 1 (2015), s. 257-262

Registrowané v: wos

### **AFC Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách**

AFC01 Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (40%) - Klas, Matej [UKOMFKEF] (40%) - Matejčík, Štefan [UKOMFKEF] (15%) - Machová, E. (5%): Bioapplication of plasma jet fed by argon and argon/O<sub>2</sub> gas mixture

Recenzované

Lit. 19 zázň., 5 obr.

In: WDS'13 : Part II Physics of Plasmas and Ionized Media. - Praha : MATFYZPRESS, 2013. - S. 149-153. - ISBN 978-80-7378-251-1

[WDS 2013 : Week of Doctoral Students : Annual Conference of Doctoral Students. 22nd, Prague, 4-7.6.2013]

AFC02 Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (40%) - Klas, Matej [UKOMFKEF] (40%) - Zahoran, Miroslav [UKOMFKEF] (10%) - Matejčík, Štefan [UKOMFKEF] (10%): Study of RF microdischarges in argon

Lit. 13 zázň., 6 obr.

In: WDS 2014 : Part-Physics. - Praha : MATFYZPRESS, 2014. - S. 271-274. - ISBN 978-80-7378-276-4

[WDS 2014 : Week of Doctoral Students : Annual Conference of Doctoral Students. 23rd, Prague, 3.-5.6.2014]

AFC03 Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (50%) - Klas, Matej [UKOMFKEF] (30%) - Matejčík, Štefan [UKOMFKEF] (10%) - Jogi, J. (10%): OES study of glow region of argon APPJ at various gas flow rates

Lit. 20 zázň., 6 obr.

In: WDS'15 : Physics. - Praha : MATFYZPRESS, 2015. - S. 179-183. - ISBN 978-80-7378-311-2

[WDS 2015 : Week of Doctoral Students : Annual Conference of Doctoral Students. 24th, Prague, 2-4.6.2015]

### **AFD Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách**

AFD01 Klas, Matej [UKOMFKEF] (40%) - Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (40%) - Matejčík, Štefan [UKOMFKEF] (20%): Electrical characterization of hydrogen microdischarges from direct current up to 13.56 MHz

Popis urobený 18.3.2015

Lit. 7 zázň., 3 obr.

In: 20th Symposium on Application of Plasma Processes SAPP ; COST TD1208 Workshop on Application of Gaseous Plasma with Liquids [elektronický zdroj]. - Bratislava : Department of Experimental Physics FMFI UK, 2015. - S. 132-134 [online]. - ISBN978-80-8147-027-1

[SAPP 2015 : Symposium on Application of Plasma Processes. 20th, Tatranská Lomnica, 17.-22.1.2015]

[COST TD1208 : Workshop on Application of Gaseous Plasma with Liquids. Tatranská Lomnica, 17.-22.1.2015]

URL: <http://neon.dpp.fmph.uniba.sk/sapp/base.php?stranka=Book of Contributed>

Papers [http://neon.dpp.fmph.uniba.sk/sapp/download/SAPP\\_XX\\_2015.pdf](http://neon.dpp.fmph.uniba.sk/sapp/download/SAPP_XX_2015.pdf)

AFD02 Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (50%) - Klas, Matej [UKOMFKEF] (40%) - Matejčík, Štefan

[UKOMFKEF] (10%): Study of microdischarges in hydrogen

Popis urobený 18.3.2015

Lit. 13 zázň., 4 obr.

In: 20th Symposium on Application of Plasma Processes SAPP ; COST TD1208 Workshop on Application of Gaseous Plasma with Liquids [elektronický zdroj]. - Bratislava : Department of Experimental Physics FMFI UK, 2015. - S. 279-282 [online]. - ISBN978-80-8147-027-1

[SAPP 2015 : Symposium on Application of Plasma Processes. 20th, Tatranská Lomnica, 17.-22.1.2015]

[COST TD1208 : Workshop on Application of Gaseous Plasma with Liquids. Tatranská Lomnica, 17.-22.1.2015]

URL: <http://neon.dpp.fmph.uniba.sk/sapp/base.php?stranka=Book of Contributed>

Papers[http://neon.dpp.fmph.uniba.sk/sapp/download/SAPP\\_XX\\_2015.pdf](http://neon.dpp.fmph.uniba.sk/sapp/download/SAPP_XX_2015.pdf)

### **AFG Abstrakty príspevkov zo zahraničných vedeckých konferencií**

AFG01 Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (40%) - Pisklová, Katarína (10%) - Klas, Matej [UKOMFKEF] (20%) - Machová, E. (10%) - Matejčík, Štefan [UKOMFKEF] (20%): Kiloherz driven plasma pen inactivation of candida albicans biofilms

Recenzované

Lit. 7 zázň.

In: Final scientific programme & Book of Abstracts. - Budapest : Hungarian Academy of Sciences, 2013. - S. 103. - ISBN 978-615-5270-04-8

[CESPC 2013 : Central European Symposium on Plasma Chemistry. 5th, Balatonalmádi, 25.-29.8.2013]

AFG02 Klas, Matej [UKOMFKEF] (40%) - Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (40%) - Matejčík, Štefan [UKOMFKEF] (20%): Water vapour microdischarges generated from DC up to radio frequencies

Lit. 7 zázň.

In: Electrical Discharges with Liquids for Future Applications. - [Barcelona] : [Polytechnic University of Catalonia ], 2015. - S. 32. - ISBN 978-84-606-5787-3

[COST Action TD1208 2015 : Electrical Discharges with Liquids for Future Applications : Annual Meeting. 2nd, Barcelona, 23.-26.2.2015]

AFG03 Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (40%) - Klas, Matej [UKOMFKEF] (20%) - Šoltýsová, Andrea (10%) - Feruszová, Jana (10%) - Matejčík, Štefan [UKOMFKEF] (20%): Selective apoptosis of human cells induced by atmospheric air plasma

Lit. 7 zázň.

In: Electrical Discharges with Liquids for Future Applications. - [Barcelona] : [Polytechnic University of Catalonia ], 2015. - S. 79. - ISBN 978-84-606-5787-3

[COST Action TD1208 2015 : Electrical Discharges with Liquids for Future Applications : Annual Meeting. 2nd, Barcelona, 23.-26.2.2015]

AFG04 Klas, Matej [UKOMFKEF] (50%) - Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (30%) - Matejčík, Štefan [UKOMFKEF] (20%): Electrical breakdown of microdischarges in water vapor

Lit. 4 zázň.

In: Electrical Discharges with Liquids for Future Applications. - [Kocaeli ] : [Kocaeli University], 2016. - S. 46. - ISBN 978-605-9190-20-9

[COST Action TD 1208 2016 : Electrical Discharges with Liquids for Future Application : Annual Meeting. 3rd, Kocaeli, 13.-17.3.2016]

AFG05 Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (40%) - Klas, Matej [UKOMFKEF] (30%) - Masár, Marián (10%) - Troška, Peter (10%) - Matejčík, Štefan [UKOMFKEF] (10%): Generation of NO<sub>2</sub> and NO<sub>3</sub> in water by negative corona discharge

Lit. 7 zázň.

In: Electrical Discharges with Liquids for Future Applications. - [Kocaeli ] : [Kocaeli University], 2016. - S. 65. - ISBN 978-605-9190-20-9

[COST Action TD 1208 2016 : Electrical Discharges with Liquids for Future Application : Annual Meeting. 3rd, Kocaeli, 13.-17.3.2016]

### **BEE Odborné práce v zahraničných zborníkoch (konferenčných aj nekonferenčných)**

BEE01 Klas, Matej [UKOMFKEF] (35%) - Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (35%) - Šoltýsová, Andrea



[UKOPRBMB] (10%) - Feruszová, Jana (10%) - Matejčík, Štefan [UKOMFKEF] (10%): Selective apoptosis of cells induced by atmospheric plasma

Popis urobený 27.10.2014

Lit. 7 zázň., 3 obr.

In: HAKONE XIV : Book of Contributions [elektronický zdroj]. - Greifswald : Institute of Physics at the University of Greifswald and the Leibniz Institute for Plasma Science and Technology, 2014. - nestr. [3 s.] [online]

[HAKONE 2014 : International Symposium on High Pressure Low Temperature Plasma Chemistry. 14th, Zinnowitz, 21.-26.9.2014]

URL: <http://www.hakone2014.org/downloads/hakonexiv-book-of-contributions.pdf>[http://www.hakone2014.org/downloads/book\\_of\\_abstracts.pdf](http://www.hakone2014.org/downloads/book_of_abstracts.pdf)

POZNÁMKA:

Vyšlo aj ako abstrakt - HAKONE XIV : Book of Abstracts [elektronický zdroj]. - Greifswald : Institute of Physics at the University of Greifswald and the Leibniz Institute for Plasma Science and Technology, 2014. - S. 138 [online]

### **BEF Odborné práce v domácich zborníkoch (konferenčných aj nekonferenčných)**

BEF01 Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (50%) - Bogár, Ondrej [UKOMFKEFd] (25%) - Matejčík, Štefan [UKOMFKEF] (25%): Optical emission spectroscopy of glow region of atmospheric pressure argon plasma jet

Lit. 17 zázň.

In: 19th Symposium on Application of Plasma Processes and Workshop on Ion Mobility Spectrometry [elektronický zdroj]. - Bratislava : Department of Experimental Physics FMFI UK, 2013. - S. 262-265 [CD-ROM]. - ISBN 978-80-8147-004-2

[SAPP 2013 : Symposium on Application of Plasma Processes. 19th, Vrátna, 26.-31.1.2013]

[Workshop on Ion Mobility Spectrometry 2013. Vrátna, 26.-31.1.2013]

BEF02 Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (40%) - Horváth, Gabriel (10%) - Machová, E. (20%) - Pisklová, Katarína (20%) - Matejčík, Štefan [UKOMFKEF] (10%): Inactivation of yeast biofilm with argon plasma jet

Lit. zázň.

In: 19th Symposium on Application of Plasma Processes and Workshop on Ion Mobility Spectrometry [elektronický zdroj]. - Bratislava : Department of Experimental Physics FMFI UK, 2013. - S. 258-261 [CD-ROM]. - ISBN 978-80-8147-004-2

[SAPP 2013 : Symposium on Application of Plasma Processes. 19th, Vrátna, 26.-31.1.2013]

[Workshop on Ion Mobility Spectrometry 2013. Vrátna, 26.-31.1.2013]

### **FAI Redakčné a zostavovateľské práce knižného charakteru (bibliografie, encyklopédie, katalógy, slovníky, zborníky, atlasy ...)**

FAI01 - Papp, Peter [UKOMFKEF] (20%) - Országh, Juraj [UKOMFKEF] (20%) - Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (20%) - Ribar, Anita [UKOMFKEFd] (20%) - Matejčík, Štefan [UKOMFKEF] (20%): 20th Symposium on Application of Plasma Processes SAPP ; COST TD1208 Workshop on Application of Gaseous Plasma with Liquids [elektronický zdroj]. - 1. vyd. - Bratislava : Department of Experimental Physics FMFI UK, 2015. - 341 s. [online]

Popis urobený 19.3.2015

ISBN 978-80-8147-027-1

[SAPP 2015 : Symposium on Application of Plasma Processes. 20th, Tatranská Lomnica, 17.-22.1.2015]

[COST TD1208 : Workshop on Application of Gaseous Plasma with Liquids. Tatranská Lomnica, 17.-22.1.2015]

URL: <http://neon.dpp.fmph.uniba.sk/sapp/base.php?stranka=Book of Contributed>

Papers [http://neon.dpp.fmph.uniba.sk/sapp/download/SAPP\\_XX\\_2015.pdf](http://neon.dpp.fmph.uniba.sk/sapp/download/SAPP_XX_2015.pdf)

### **GHG Práce zverejnené spôsobom umožňujúcim hromadný prístup**

GHG01 Klas, Matej [UKOMFKEF] (40%) - Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (30%) - Janda, Mário [UKOMFKAFZM] (10%) - Matejčík, Štefan [UKOMFKEF] (20%): Electrical and optical characterization of microdischarges from DC up to 13,56 MHz in H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> and water vapor

Popis urobený 13.10.2015

Lit. 10 zázň., 4 obr.

In: ICPIG 2015 [elektronický zdroj]. - [Iasi] : [Alexandru Ioan Cruza University], 2015. - Art. No. P4.31[2 s.] [online]

[ICPIG 2015 : International Conference of Phenomena in Ionized Gases. 32nd, Iasi, 26.-31.7.2015]

URL: <http://www.icpig2015.net/ShowPage/?PageName=PosterInformation>

GHG02 Lacko, Michal [UKOMFKEFd] (50%) - Papp, Peter [UKOMFKEF] (30%) - Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (10%) - Matejčík, Štefan [UKOMFKEF] (10%): Electron ionization and dissociative electron attachment to dicyclohexyl phthalate molecule

Popis urobený 13.10.2015

Lit. 21 zázň., 3 obr.

In: ICPIG 2015 [elektronický zdroj]. - [Iasi] : [Alexandru Ioan Cruza University], 2015. - Art. No. P2.07 [4 s.] [online]

[ICPIG 2015 : International Conference of Phenomena in Ionized Gases. 32nd, Iasi, 26.-31.7.2015]

URL: <http://www.icpig2015.net/ShowPage/?PageName=PosterInformation>

GHG03 Moravský, Ladislav [UKOMFKEFd] (40%) - Klas, Matej [UKOMFKEF] (40%) - Matejčík, Štefan [UKOMFKEF] (20%): Electric properties of an atmospheric pressure RF hydrogen microdischarge

Popis urobený 13.10.2015

Lit. 13 zázň., 4 obr.

In: ICPIG 2015 [elektronický zdroj]. - [Iasi] : [Alexandru Ioan Cruza University], 2015. - Art. No. P4.41[2 s.] [online]

[ICPIG 2015 : International Conference of Phenomena in Ionized Gases. 32nd, Iasi, 26.-31.7.2015]

URL: <http://www.icpig2015.net/ShowPage/?PageName=PosterInformation>

#### **Štatistika kategórií (Zázňamov spolu: 21):**

ADC Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch (4)

AFC Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách (3)

AFD Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách (2)

AFG Abstrakty príspevkov zo zahraničných vedeckých konferencií (5)

BEE Odborné práce v zahraničných zborníkoch (konferenčných aj nekonferenčných) (1)

BEF Odborné práce v domácich zborníkoch (konferenčných aj nekonferenčných) (2)

FAI Redakčné a zostavovateľské práce knižného charakteru (bibliografie, encyklopédie, katalógy, slovníky, zborníky, atlasy ...) (1)

GHG Práce zverejnené spôsobom umožňujúcim hromadný prístup (3)

#### **Štatistika ohlasov (11):**

[o1] Citácie v zahraničných publikáciách registrované v citačných indexoch (11)

19.4.2016