



Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky



Lenka Leštinská

Autoreferát dizertačnej práce

**Optická emisná spektroskopia mikrovlnnej plazmy kombinovanej
s jednosmernými výbojmi pri atmosférickom tlaku**

na získanie akademického titulu philosophiae doctor

v odbore doktorandského štúdia: 4.1.4 Kvantová elektronika a optika

Bratislava 2012

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Katedre astronómie, fyziky Zeme a meteorológie

Predkladateľ: **Mgr. Lenka Leštinská**
Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorológie
Mlynská dolina F2
842 48 Bratislava

Školiteľ: **Doc. RNDr. Zdenko Machala, PhD.**
Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorológie
Mlynská dolina F2
842 48 Bratislava

Oponenti: **Doc. RNDr. Rudolf Hajossy, CSc.**
Matematický ústav SAV
Slovenská akadémia vied
Štefánikova 49
814 73 Bratislava

Doc. Mgr. Vít Kudrle, PhD.
Ústav fyzikální elektroniky
Přírodovědecká fakulta
Masarykova univerzita
Kotlárska 2
611 37 Brno, Česká republika

Prof. RNDr. Mirko Černák, CSc.
Ústav fyzikální elektroniky
Přírodovědecká fakulta
Masarykova univerzita
Kotlárska 2
611 37 Brno, Česká republika

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

4.1.4 Kvantová elektronika a optika

na Univerzite Komenského, Fakulte matematiky, fyziky a informatiky

Predseda odborovej komisie:

.....

1 Úvod

Jedným zo spôsobov generovania rovnovážnej (LTE) plazmy (alebo plazmy v podmienkach blízkych LTE) je mikrovlnný fackový výboj. Hlavnou výhodou mikrovlnných výbojov je generovanie plazmy bez elektród, účinný prevod elektrickej energie do plazmy a dostupnosť lacných mikrovlnných zdrojov (magnetronov) pracujúcich na frekvencii 2,45 GHz, ktoré sa využívajú aj v bežných mikrovlnných rúrach. Ak sú navyše generované pri atmosférickom tlaku, odpadá aj potreba vákuových zariadení, ktoré môžu prinášať mnohé problémy. Fackové výboje majú pestré využitie v rôznych oblastiach. Pri aplikáciách akýchkoľvek výbojov je však veľmi dôležité poznať vlastnosti generovanej plazmy.

Dobrym nástrojom na diagnostiku plazmy je optická emisná spektroskopia, ktorá umožňuje identifikáciu aktívnych častíc a radikálov nachádzajúcich sa v plazme ako aj meranie teploty plazmy, určenie hustoty elektrónov a za určitých predpokladov aj rozmerov generovanej plazmy. Optická diagnostika sa aplikuje na takmer všetky druhy výbojov a plazmy, vrátane mikrovlnného fackového výboja.

Pri našich experimentoch sme sa zamerali najskôr na skúmanie vlastností generovaného mikrovlnného výboja v dusíku pomocou optickej emisnej spektroskopie. Vykonali sme pomerne rozsiahlu spektroskopickú charakteristiku tohto výboja v dusíku. Analyzovali sme emisné spektrá pri rôznych podmienkach, sledovali sme ako vplýva zmena niektorých parametrov na tvar vyfukovanej plazmy a následne sme vykonali priestorovú charakteristiku výboja.

V druhej časti sme skúmali MW výboj generovaný vo vzduchu. V tomto prípade sme sa zamerali hlavne na určovanie teploty plazmy. Avšak, keďže teplota nami generovanej MW plazmy sa z objektívnych dôvodov nedala určiť priamou metódou z emisných spektier, vyvinuli sme aj novú metódu, ktorá využíva kombináciu MW výboja s korónovým.

Ďalšia veľká skupina experimentov je venovaná kombinácii MW fackového výboja generovaného vo vzduchu pri atmosférickom tlaku s inými typmi výbojov, konkrétne s tlecím a prechodovou iskrou. Tu si možno čitateľ položí otázku, prečo si komplikovať prácu kombináciou rôznych výbojov, keď už práca s jedným môže byť v mnohých prípadoch dosť komplikovaná. Našou motiváciou je preskúmanie vlastností kombinovaných výbojov, možné vylepšenie vlastností jedného výboja pomocou druhého a jeho následné využitie.

V posledných rokoch sa značná pozornosť venuje výskumu plazmou asistovaného spaľovania, pretože sa ukázalo, že plazma môže vylepšiť niektoré kritické problémy spaľovacieho procesu alebo samotného zapaľovania plameňa. Do popredia sa preto dostáva aj výskum správania výbojov v horúcom vzduchu (resp. v plameni horiacom vo vzduchu). Keďže mikrovlnná facka je vlastne istým spôsobom zohrievania vzduchu na relatívne vysoké teploty, porovnateľné s teplotami plameňa, venovali sme sa kombinácii nášho MW výboja s tlecím výbojom a tiež s prechodovou iskrou, aby sme mohli skúmať správanie týchto výbojov v predhriatom a predionizovanom vzduchu.

Pri plazmou asistovanom spaľovaní, ale aj mnohých iných aplikáciách, ako napríklad opracovanie povrchov, biochemická dekontaminácia a podobne, sa do popredia dostáva požiadavka vytvoriť nerovnovážnu plazmu čo najväčších objemov pri atmosférickom tlaku. Plazma dostatočne veľkých objemov s nízkou teplotou a zároveň vysokou hustotou elektrónov ($10^{12} \text{ e}^-/\text{cm}^3$) by mohla nájsť využitie pri plazmovom tinení [1, 2]. Ukazuje sa, že plazma väčších objemov pri atmosférickom tlaku by sa za určitých okolností mohla dať vytvoriť práve kombináciou MW fackového výboja vo vzduchu s tlecím výbojom a tiež s prechodovou iskrou, keďže prechodová iskra je energeticky menej náročný výboj ako tlecí, vďaka tomu, že je to pulzný výboj, generujúci nerovnovážnu plazmu [3]. Toto je ďalší dôvod, prečo sa venujeme kombinovaným výbojom.

2 Teoretické východiská

Keďže sme generovali rôzne typy výbojov a ich kombinácie, popíšeme najskôr stručne jednotlivé typy výbojov.

2.1 Korónový výboj

Korónový výboj je typickým reprezentantom výboja objavujúceho sa v nehomogénnom elektrickom poli a pri tlakoch vyšších ako 1 kPa. Nehomogénne pole je prítomné v prípade, že jedna (alebo aj obidve) elektródy majú malý polomer zakrivenia. V praxi to môže byť napríklad tenký drôt, ihla a podobne. V takomto prípade môže v priestore pri elektróde vzniknúť elektrické pole dostatočne silné na to, aby spôsobilo lokálny prieraz aj keď napätie medzi elektródami ešte nedosiahne hodnotu, ktorá je potrebná na prieraz celého medzielektródového priestoru [4]. Elektróda s malým polomerom krivosti sa nazýva korónujúca elektróda. Okolo nej je prítomné silné elektrické pole, v ktorom vznikajú elektrónové lavíny. Pole medzi elektródami je však kvôli nehomogenite omnoho slabšie a to bráni rozšíreniu lavín do celého medzielektródového priestoru. Preto sa oblasť ionizácie vyskytuje len v okolí korónujúcej elektródy a túto časť výboja nazývame korónujúca vrstva – predstavuje ju slabo svietiaci obal korónujúcej elektródy. Oblasť, kde nedochádza k ionizácii sa nazýva vonkajšia (alebo aj driftová) oblasť koróny. Ak zvyšujeme napätie medzi elektródami, postupne narastajú rozmery korónujúcej vrstvy, napokon vonkajšia oblasť úplne zaniká. V tom momente korónujúca vrstva dorazí k elektróde s veľkým polomerom krivosti a medzi elektródami vzniká iný výboj, ktorého charakter určuje voltampérová charakteristika vysokonapäťového zdroja. Zvyčajne to býva tlecí alebo oblúkový výboj [4].

Korónový výboj má bohaté využitie, používa sa napríklad v elektrostatických odľučovačoch [5], na generáciu ozónu [6], odstraňovanie NO [7, 8, 9], biodekontamináciu vody [10,11] biomedicínske aplikácie [12], opracovanie materiálov [13, 14] a podobne.

2.2 Tlecí výboj

Tlecí výboj zvyčajne horí pri tlakoch 1 - 10 000 Pa a prúdoch 0,1 - 100 mA. Je ho možné generovať aj pri atmosférickom tlaku, ale len pri dostatočne malom prúde, aby sa zabránilo prílišnému zahrievaniu elektród. Pri prúdoch blízkych 1 A prechádza tlecí výboj postupne do oblúkového. V tlecom výboji môžeme vizuálne pozorovať časti, ktoré jasne svietia (najvýraznejšie sú tzv. záporné svetlo a kladný stĺpec) a menej vyžarujúce časti, ktoré označujeme ako tmavé priestory. Ako sme spomínali, tlecí výboj je možné generovať aj pri atmosférickom tlaku [15, 16]. Takýto výboj vo vzduchu skúmali napríklad Machala a kol. [15].

2.3 Prechodová iskra

Prechodová iskra [17, 18] je špecifický druh iskrového výboja. Napriek DC napájaniu (obidvoch polarít) je to pulzný výboj s veľmi krátkymi silnými impulzmi prúdu (~ 100 ns, ~ 1 A) a regulovateľnou frekvenciou ($\sim 1 - 10$ kHz). Je iniciovaná streamerom prechádzajúcim do iskry, pričom fáza iskry je príliš krátka na to, aby sa rozvinula do oblúka a dosiahla podmienky LTE. Aby sa to však nestalo, je potrebné výboju nejakým spôsobom „zabrániť“ dosiahnutie LTE a v tomto prípade je to zabezpečené malou energiou uloženou v kapacite C, ktorá sa v iskrovej fáze vybíja. Takýto výboj môže byť použitý napríklad na čistenie plynov alebo biodekontamináciu [17, 18].

2.4 Mikrovlnné výboje

Mikrovlnné výboje, ako už názov napovedá, využívajú mikrovlnnú oblasť elektromagnetického spektra. Mikrovlnné žiarenie je žiarenie s frekvenciami 300 MHz až 30 GHz. Tento frekvenčný rozsah zodpovedá vlnovým dĺžkam rádovo v centimetroch. Jednotlivé mikrovlnné systémy zväčša využívajú 2,45 GHz magnetrón s rôznymi výkonmi, od stoviek wattov až po niekoľko kilowattov a štandardné vlnovody. V mnohých systémoch je vo vlnovode umiestnená mechanická prekážka (napríklad teflónová páska alebo okienko [19]), ktorá oddeľuje priestor rezonančného cirkulátora a magnetrónu od výbojovej komory. Zabezpečuje, aby sa prach, plyn, prípadne iné nečistoty z výbojovej komory nedostali do priestoru magnetrónu, čo by mohlo spôsobiť jeho zničenie.

Cirkulátor je zariadenie, obsahujúce feritové magnety, ktoré ma viacero vstupov a zabezpečuje, že sa mikrovlnný výkon v jednom smere prenáša a v inom smere odkloní. Konkrétne v prípade mikrovlnnej fakle je prostredníctvom cirkulátora odvádzaný odrazený výkon do vodnej záťaže, aby sa nedostal naspäť k magnetrónu, čo by mohlo spôsobiť jeho poškodenie. Viaceré zariadenia majú vo vlnovode umiestené tiež ladiace skrutky [20, 21], ktoré pri správnom nastavení udržiavajú odrazený výkon minimálny (v prípade [21] pod 1%).

Na ochranu generátora a zariadení pred vplyvom mikrovlnného žiarenia môžu byť použité vodivé (kovové) cylindrické “pásy” obklopujúce výbojovú trubicu, umiestnené z oboch strán vlnovodu [22]. Okrem ochrany tiež zlepšujú elektrodynamické vlastnosti plazmového zdroja.

Jasinski a kol. [23] používajú na ochranu personálu a zariadenia kovové tienenie umiestnené koaxiálne okolo quartzovej trubice. Vertikálna štrbina v kovovom tienení pritom umožňuje pozorovanie plazmového stĺpca a vykonanie spektroskopických meraní.

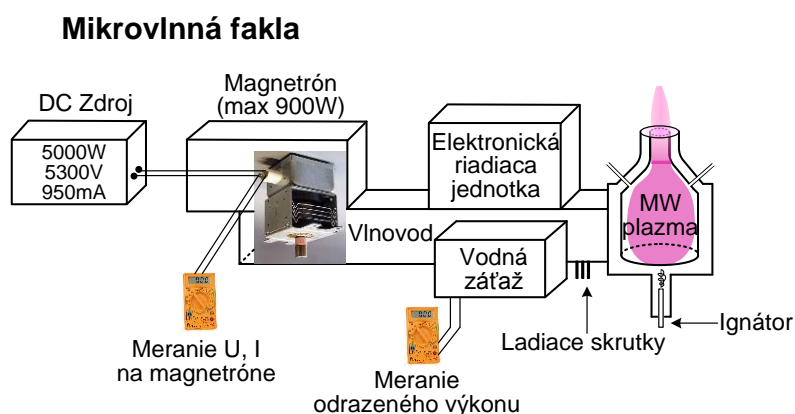
Mikrovlnná plazma je väčšinou generovaná v quartzovej trubici rôznych priemerov, konkrétne napríklad 30 mm [24], 18 mm [21], 8 mm [22], 5 mm [23]. Výbojová trubica môže byť chladená, napríklad cirkulovaním dielektrickej kvapaliny na vonkajšej stene [22], čo zároveň umožňuje udržiavať dusíkovú plazmu pri atmosférickom tlaku pri výkonoch až 6 kW bez zničenia výbojovej trubice. Mikrovlnná plazma môže byť generovaná v rozličných plynoch a ich zmesiach, ako napríklad vzduch [24], dusík [22], argón [23], hélium [25], oxid uhličitý [26]... Malá prímes vodíka do nosného plynu, v prípade [21] menej ako 1% alebo 1,6 % v [22] slúži na diagnostické účely – určenie hustoty elektrónov pomocou vodíkových čiar.

Plyn môže byť do systémov privádzaný rôznymi spôsobmi. V prípade Green a kol. [24] tangenciálny prívod vírivého prúdenia do výbojovej trubice udržiava plazmu v strede trubice a zabraňuje kontaktu so stenami trubice. Axiálne prúdenie zase transportuje vzorku, ktorú je potrebné excitovať pre spektroskopickú analýzu. Vírivé a axiálne prúdenie sú zvyčajne zastúpené v pomere 1:1. Aj v prípade Fleisch a kol. [22] je nosný plyn privádzaný tangenciálne, čo nielenže zabezpečuje vírivé prúdenie, ale aj pomáha stabilizovať plazmu pozdĺž osi trubice pri veľkých prietokoch (medzi 20 a 150 l/min). Vírivé prúdenie však v tomto prípade nielen stabilizuje plazmu, ale tiež zlepšuje účinnosť odstraňovania perfluorovaných zlúčenín. Leins a kol. [20] privádzajú plyn cez kovovú dýzu zdola, alebo tangenciálne z bokov na stabilizovanie plazmy.

Mikrovlnné výboje sú zaujímavé pre širokú škálu aplikácií. Nachádzajú svoje využitie v priemysle, kde sa používajú napríklad na povrchovú úpravu alebo rezanie materiálov [12], výrobu uhlíkových nanotrubic [27, 28, 29], ale môžu nájsť uplatnenie aj pri monitorovaní životného prostredia pre kontinuálne monitorovanie emisií [30] alebo spektroskopickú prvkovú analýzu [24]...

3 Experimentálne zariadenie - mikrovlnná fakľa

Na generovanie mikrovlnného výboja používame mikrovlnnú fakľu Litmas Red (Sencera, Ltd., obr. 1).



Obrázok 1. Experimentálne zariadenie – fotografia a schéma.

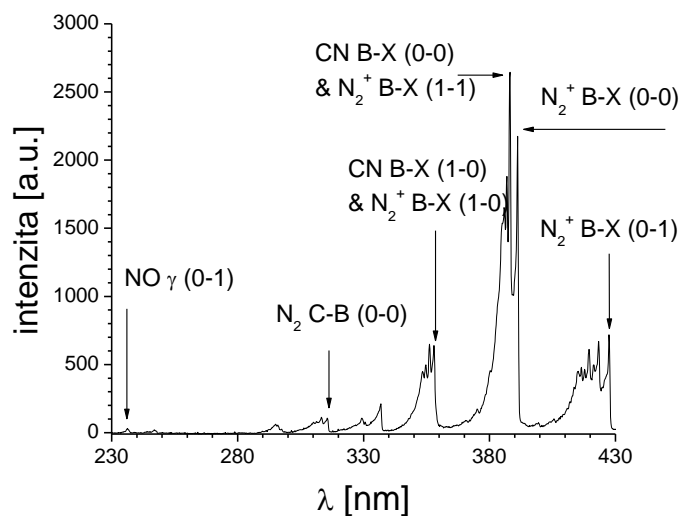
Mikrovlny generované magnetrónom sú do výbojovej komory tvaru cylindra privádzané štandardným vlnovodom s rozmermi 86x43 mm. Výbojová komora je umiestnená v odnímateľnej kovovej časti, ktorá je chladená vodou a na ktorej je pripevnená aj dýza. Vo vlnovode v mieste pripojenia odnímateľnej časti je umiestnená teflónová prepážka, ktorá slúži na ochranu magnetrónu pred nečistotami z výbojovej komory. Nosný plyn je do dýzy fagle privádzaný zhora pod uhlom 45° (60° u dýzy vyrobenej pre vyššie prietoky) a tangenciálne 2 otvormi s priemerom Ø 1 mm (2 mm pre vyššie prietoky), čo umožňuje jeho vírivé prúdenie a následné vyfukovanie plazmy nahor cez výstup dýzy s priemerom 1 cm. Na diagnostiku generovanej plazmy sme používali optickú emisnú spektroskopiu a fotodokumentáciu.

4 Výsledky

4.1 Spektroskopická štúdia mikrovlnného fagľového výboja v dusíku

4.1.1 Analýza typických emisných spektier

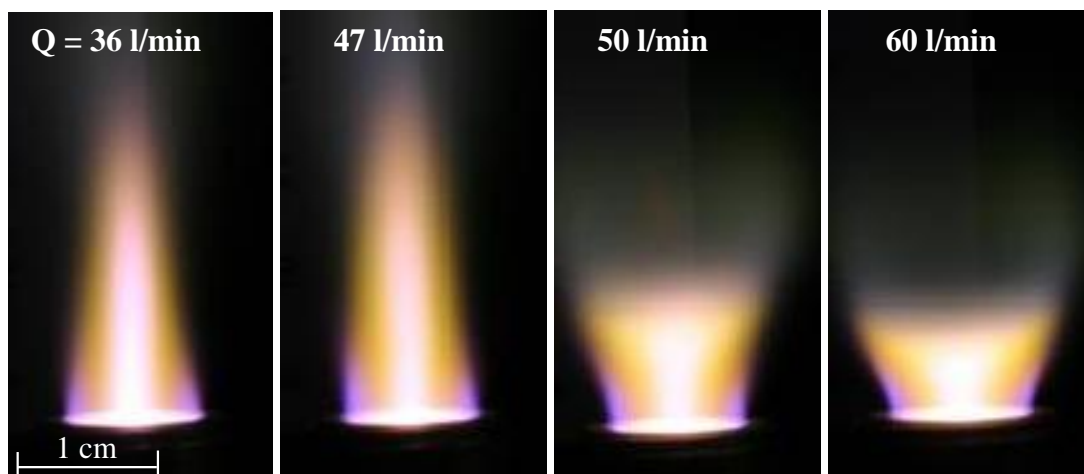
Pri experimentoch v tejto časti sme používali vzduchom chladenú výbojovú komoru vyrobenú z tvrdeného teflónu, s gumenými tesneniami a pôvodný 3 kW magnetrón kalibrovaný výrobcom. Zdrojom nosného plynu bol dusík z tlakových fliaš s čistotou 99,99 %. Napriek tomu sme analýzou emisných spektier zistili silné vyžarovanie CN skupiny, to znamená, že do systému sa dostávala uhlíkatá nečistota. Nečistota pochádzala čiastočne priamo z tlakovej fliaše, avšak časť pochádzala aj zo samotnej fagle (z gumených tesnení výbojovej komory, ktoré sa počas horenia výboja zahrievali a uvoľňovali uhlíkaté komponenty). Pri experimente pri vyššom prietoku, kedy dochádza k menšiemu zahrievaniu výbojovej komory a teda sa uvoľňuje menej CN, sa v spektrách zviditeľnili aj spektrá N_2 a N_2^+ , ktoré boli predtým takmer úplne prekryté veľmi silným vyžarovaním CN. (obr. 2)



Obrázok 2. UV Spektrum N_2 , CN, N_2^+ pri $Q = 29$ l/min, $P = 1,46$ kW, dýza 60° Ø 2 mm.

4.1.2 Tvar vyfukovanej plazmy

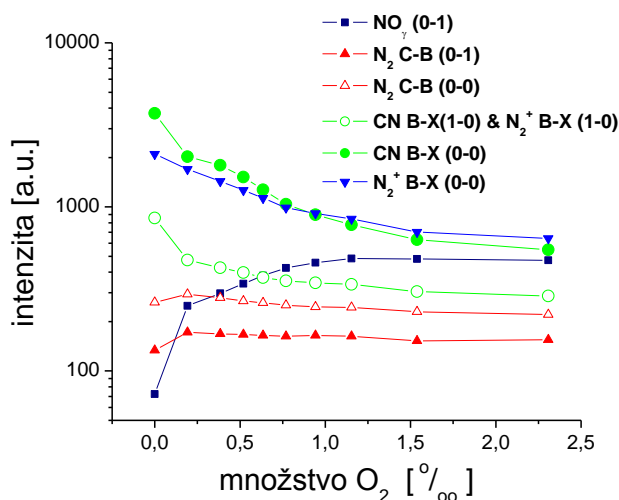
Pri experimente s vyššími prietokmi sme pozorovali zaujímavý kolaps tvaru vyfukovanej plazmy z kónického do „lievikovitého“ (obr. 3). Tento jav úzko súvisí s vírivým prúdením nosného plynu vo výbojovej komore, z ktorej je plazma následne vyfukovaná nahor. Pri vyšších prietokoch plynu, a teda aj vyššej tangenciálnej rýchlosti prúdenia, bola víriaca plazma odstredivou silou silne tlačaná smerom k stenám. To následne spôsobilo „rozliatie“ plazmy do tvaru lievika.



Obrázok 3. Kolaps tvaru vyfukovanej plazmy z kónického tvaru do tvaru lievika.
Fotografia: clona 22, expozícia 1s.

4.1.3 Prímes kyslíka do nosného plynu

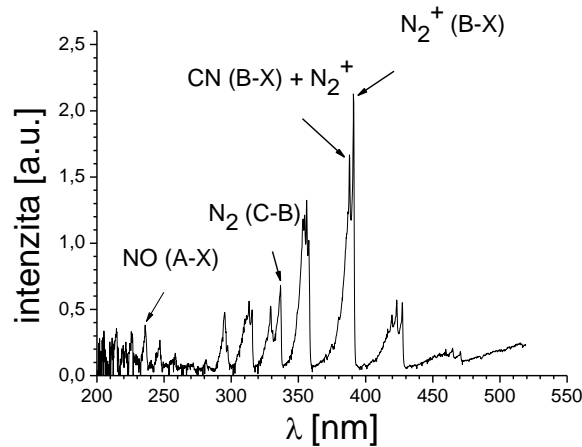
Pri experimente s malou prímiesou O_2 do nosného plynu N_2 sme vo vyžarovaní výboja pozorovali zásadné zmeny, ktoré záviseli od množstva pridaného O_2 (obr. 4). S prítomnosťou O_2 sa objavilo vyžarovanie NO (A-X), ktorého intenzita výrazne rástla s rastúcou koncentráciou O_2 . NO zrejme vzniká termickou disociáciou N_2 a O_2 a následnou reakciou $N + O$. Naopak, s rastúcou koncentráciou O_2 výrazne klesá intenzita CN aj intenzita N_2^+ . Je zrejmé, že pridaním O_2 sa celkom mení plazmochemický mechanizmus.



Obrázok 4. Závislosť intenzity vyžarovania od množstva O_2 .

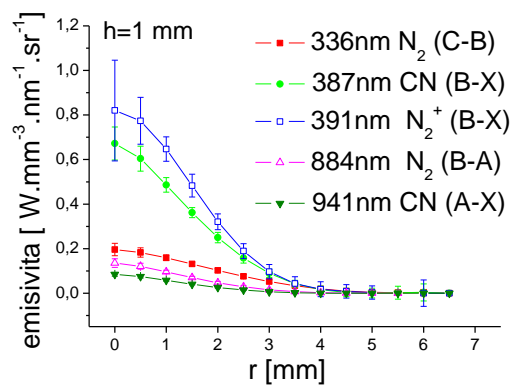
4.1.4 Priestorová charakteristika výboja v dusíku

Pri experimentoch v tejto časti sme používali výbojovú komoru vyrobenú z keramiky Al_2O_3 . Namiesto gumených tesnení sme použili teflonové, snažili sme sa totiž eliminovať uhlíkatú nečistotu v systéme a teda následné vyžarovanie CN radikálu. Typické namerané emisné spektrum N_2 mikrovlnnej plazmy je popísané na obrázku 5. Identifikovali sme vyžarovanie molekúl NO, N_2 , N_2^+ a CN radikálu.



Obrázok 5. Namerané UV spektrum.

Vyhodnocovali sme horizontálne profily intenzity vyžarovania generovanej plazmy v rôznych výškach h nad ústím dýzy fagle. Prietok dusíka ani výkon magnetrónu sme počas meraní nemenili a ich hodnoty boli nasledovné: $Q = 15$ l/min a $P = 1,46$ kW. Teplotu MW plazmy pri týchto nastaveniach sme určili z emisných spektier N_2 a bola 4000 ± 250 K. Merali sme intenzity vyžarovania v rôznych polohách x od osi plazmy. Vzďialenosť medzi dvoma bodmi merania bola 1 mm. Z nameraných hodnôt sme spravili horizontálne profily – teda závislosti intenzity vyžarovania od vzdialenosti od osi plazmy, na ktoré sme aplikovali Abelovu inverziu. Na obrázku 6 sú zobrazené Abelovsky invertované horizontálne profily pre rôzne prechody vo výške 1 mm nad ústím dýzy fagle.



Obrázok 6. Horizontálne profily $h=1$ mm.

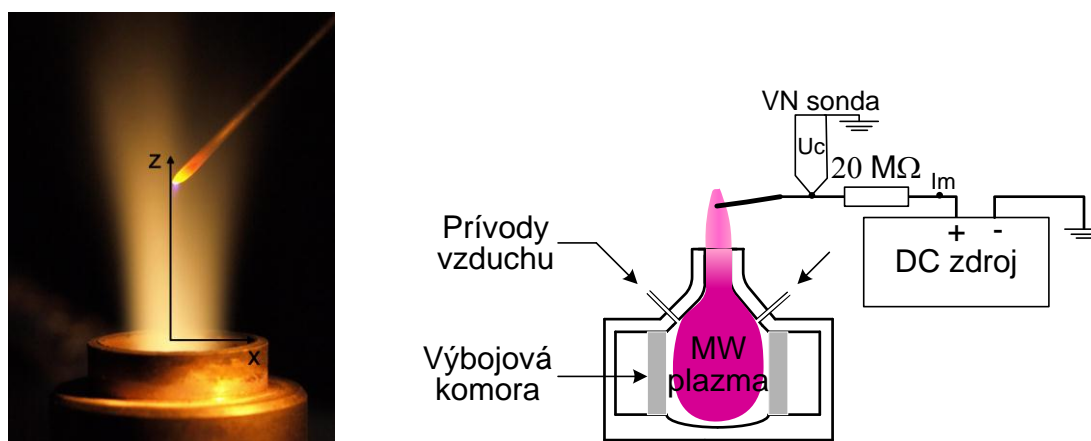
Výsledky experimentov ukázali, že emisivita pre všetky prechody klesá s rastúcou vzdialenosťou od osi plazmy. Emisivita tiež klesá s rastúcou výškou, pričom tvar profilov je v rôznych výškach zachovaný až na mierne odchýlky, ktoré sú však vrámci zobrazovaných chýb.

4.2 Spektroskopická štúdia mikrovlnného fakľového výboja vo vzduchu

Ukázalo sa, že dôvodu nízkeho výkonu magnetrónu a neprítomnosti vyžarovania molekulových emisných spektier nebolo možné priame spektroskopické štúdium samotného MW fakľového výboja vo vzduchu ako sme pôvodne mali v pláne. Tento problém sme však vyriešili vyvinutím novej diagnostickej metódy popísanej nižšie.

4.3 Kombinácia MW + korónový výboj – určovanie teploty MW výboja

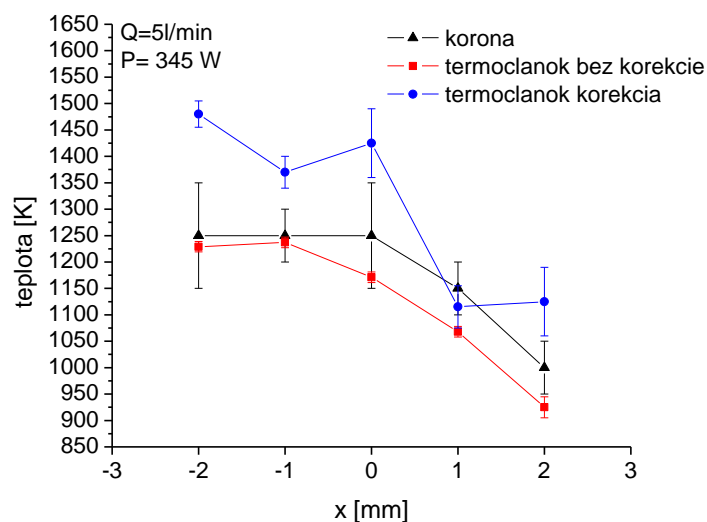
Určovať rotačnú teplotu plazmy (čiže teplotu plynu) z emisných spektier je najlepšie pomocou spektier tých častíc, ktoré sú súčasťou nosného plynu, pretože pri určovaní teploty pomocou častíc, ktoré vznikajú až priamo v plazme, nemusí byť určená teplota úplne presná. Preto určujeme rotačnú teplotu plazmy, generovanej vo vzduchu, pomocou N_2 spektier. Keďže v našom výboji N_2 nevyžaruje, nemáme žiadne vyžarovanie molekulových spektier vhodných na určenie teploty. Riešením je kombinácia MW výboja s korónovým. V silne nerovnovážnom korónovom výboji je teplota plynu nízka (takmer izbová), ale vysoká teplota elektrónov je dostatočná na excitáciu N_2 . Vo výbojoch pri atmosférickom tlaku ale platí, že rotačná teplota sa vyrovná s okolitou teplotou plynu. To znamená, že keď umiestnime korónový výboj priamo do MW plazmy, N_2 bude síce vznikáť excitáciou elektrónmi s vysokou teplotou, ale jeho rotačná teplota sa vyrovná s okolím – teda v našom prípade s teplotou plynu MW výboja. Pomocou kombinácie MW výboja s korónovým (obr. 7) môžeme teda určovať teplotu MW výboja (ako rotačnú teplotu excitovaného N_2). Táto metóda tzv. Korónovej teplotnej sondy je podrobne popísaná v našom článku [31].



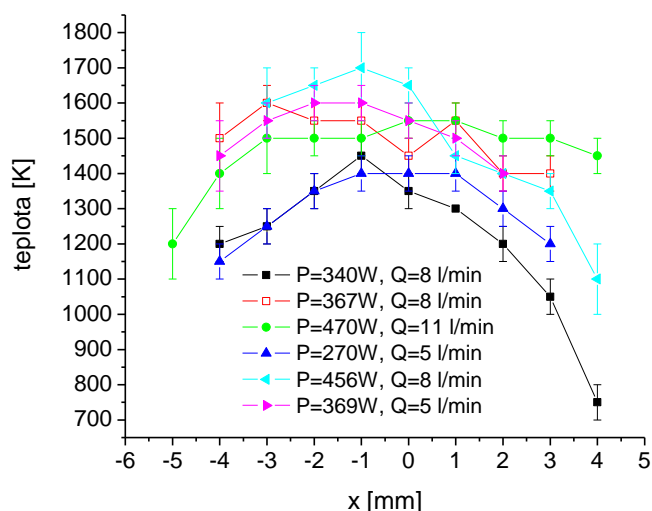
Obrázok 7. Kombinácia MW fakľového a korónového výboja.

Aby sme overili, či je metóda kombinácie s korónovým výbojom dostatočne spoľahlivá na určovanie teploty, určujeme teplotu generovanej mikrovlnnej plazmy aj iným spôsobom – termočlánkom. Teplota korónovou sondou a termočlánkom sa určuje súčasne. Keďže však termočlánkové merania môžu byť ovplyvnené radiačnými stratami alebo vedením tepla pozdĺž drôtov termočlánku, pokúsili sme sa termočlánkom namerané teploty korigovať. Aby sme eliminovali radiačné straty pri meraní, vyvinuli sme experimentálnu metódu založenú na vyhodnocovaní časového nárastu teploty termočlánku v spojení s teoretickými predpokladmi prenosu tepla a žiarenia. Výsledky ukázali, že teploty merané termočlánkom bez korekcie boli nižšie ako korónové teploty. Korekcia na radiačné straty zvýšila termočlánkové teploty (obr. 8). V tomto prípade sú korigované termočlánkové teploty prevažne vyššie ako korónové teploty. To môže byť dôsledkom interakcie termočlánku s priestorovo variabilným elektromagnetickým poľom v okolí MW fakle a/alebo kvôli vedeniu tepla z meracieho spoja termočlánku pozdĺž drôtov. Ukazuje sa však, že je to spolu s radiačnými stratami, ktoré musia byť dôsledne korigované, ďalšia nevýhoda použitia termočlánkov na meranie teploty MW plazmy.

Následne sme korónovú sondu použili na meranie teplotných profilov MW plazmy vo vzduchu. Pri týchto experimentoch sme pracovali v rozmedzí mikrovlnných výkonov 270 - 456 W a pri prietokoch 5 l/min, 8 l/min alebo 11 l/min. Vyjadrovali sme závislosť teploty od polohy v plazme. Merania sme robili vo výškach 0 až 16 mm nad ústím dýzy fakle. Teploty generovanej mikrovlnnej plazmy sa pohybovali v intervale 1150 až 1700 ± 50 K v závislosti od výkonu, prietoku a polohy v plazme. Na okrajoch výboja bola teplota nižšia ako v strede (obr. 9). Zistili sme tiež, že teplota plazmy s výškou klesá, čo sme očakávali.



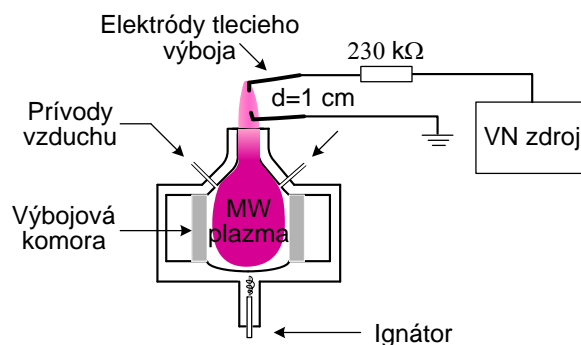
Obrázok 8. Porovnanie teplôt MW plazmy meraných korónovou sondou a termočlánkom (priamo a s korekciou) pri prietoku vzduchu 5 l/min a MW výkone 345 W.



Obrázok 9. Teplota MW plazmy pri rôznych výkonoch a prietokoch v závislosti od horizontálnej polohy x vo fixnej vertikálnej polohe 0 mm nad ústím dýzy facke.

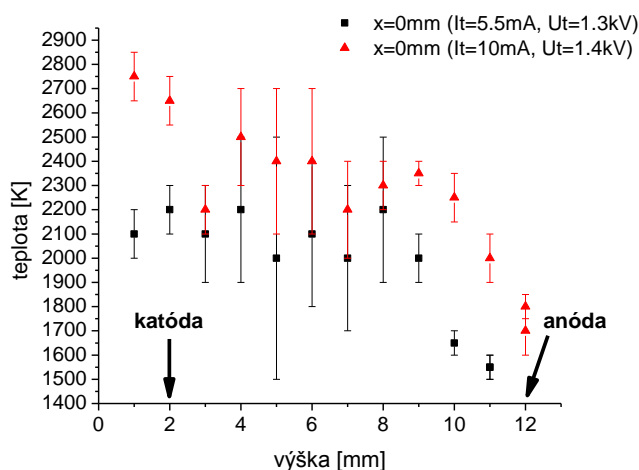
4.4 Kombinácia MW + tlecí výboj

V súčasnosti sa veľká pozornosť venuje výskumu plazmou asistovaného spaľovania, pretože sa ukázalo, že plazma môže vylepšiť niektoré kritické problémy spaľovacieho procesu alebo samotného zapalovania plameňa. Do popredia sa preto dostáva aj výskum správania výbojov v horúcom vzduchu (resp. plameni). Keďže mikrovlnná facka je vlastne istým spôsobom zohrievania vzduchu na relatívne vysoké teploty, porovnateľné s teplotami plameňa, venovali sme sa kombinácii nášho MW výboja s tlecím výbojom a tiež s prechodovou iskrou, aby sme mohli skúmať správanie týchto výbojov v predhriatom a predionizovanom vzduchu. Motiváciou bola aj potenciálna možnosť zväčšenia objemov plazmy týchto výbojov v kombinácii s mikrovlnnou plazmou [32].



Obrázok 10. Kombinácia MW fakového výboja s tlecím – tlecí výboj horí medzi hrotmi elektród vo vertikálnej osi MW plazmy

Pri kombinácii s MW výbojom (obr. 10) pôsobí vyfukovaná MW plazma ako predohrev a predionizácia vzduchu vstupujúceho do tlecieho výboja. Pri meraniach sme fixovali prúd tlecieho výboja na hodnotách 5,5 alebo 10 mA. Diagnostika výboja bola robená pomocou OES. Snímali sme spektrá v rôznych výškach kombinovaného výboja. Z emisných spektier sme zistili vyžarovanie NO a N_2 . Určovali sme teplotu plazmy z N_2 spektier, avšak tá sa dala určiť len v miestach blízko pri elektródach, kde vyžarovanie N_2 bolo intenzívnejšie ako NO.



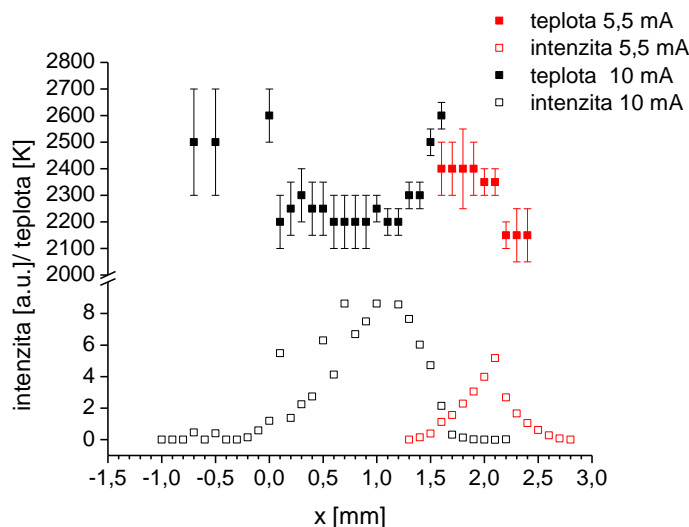
Obrázok 11. Teplota kombinovaného výboja MW+tlecí pri rôznych parametroch tlecieho výboja v závislosti od výšky, v osi MW plazmy ($x=0$).

Pri určovaní teploty sa ukázalo, že najvyššia teplota je pri katóde a smerom k anóde (nahor) klesá, pričom platí, že pri vyššom výkone dodávanom do tlecieho výboja je teplota vyššia (obr. 11).

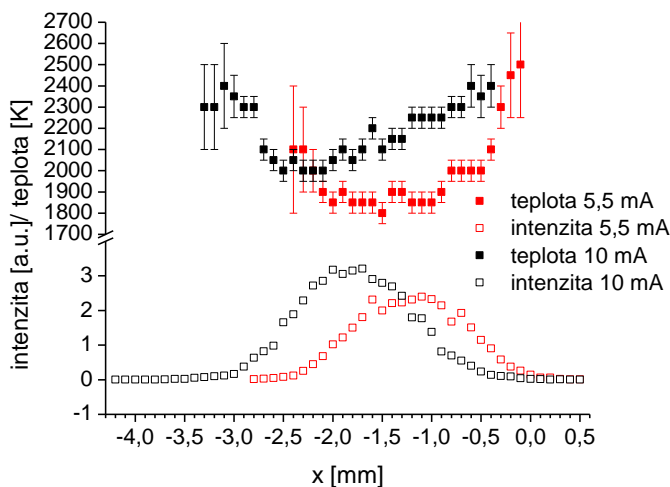
4.4.1 Horizontálny profil kombinovaného výboja

Okrem toho, že sme skúmali vlastnosti kombinovaného výboja v závislosti od výšky, zaujímalo nás aj jeho správanie v rôznych horizontálnych polohách. Robili sme teda akési horizontálne preskenovanie výboja v troch rôznych výškach (pri katóde a pri anóde). Parametre MW plazmy sme nemenili a boli nasledovné: $P = 390 \text{ W}$ a $Q = 8 \text{ l/min}$. Závislosti intenzity N_2 a teploty (určenej podľa N_2) od horizontálnej polohy x sú zobrazené na obrázkoch 12 a 13. Vidíme, že teploty pri katóde sú celkovo mierne vyššie ako teploty pri anóde. Pre teploty pri oboch elektródach platí, že v prípade vyššieho prúdu je teplota mierne vyššia. Pri katóde sme pre $I = 5,5 \text{ mA}$ určili teplotu kombinovaného výboja v intervale 2150 - 2400 K v závislosti od polohy a pre $I = 10 \text{ mA}$ v intervale 2200 - 2600 K. Pri anóde mal kombinovaný výboj teploty 1850 - 2450 K pre $I = 5,5 \text{ mA}$ a 2050 - 2400 K pre $I = 10 \text{ mA}$.

Pozorovali sme však zaujímavú skutočnosť, a to, že maximum teploty nekorešponduje presne s maximom intenzity. Teplotné profily majú zaujímavý priebeh, s maximálnymi teplotami na okrajoch kombinovaného výboja a s „ustáleným minimumom“ približne v strede (resp. pri maxime intenzity).



Obrázok 12. Porovnanie horizontálnych (radiálnych) profilov teploty a intenzity kombinovaného výboja v závislosti od polohy v plazme pri katóde.

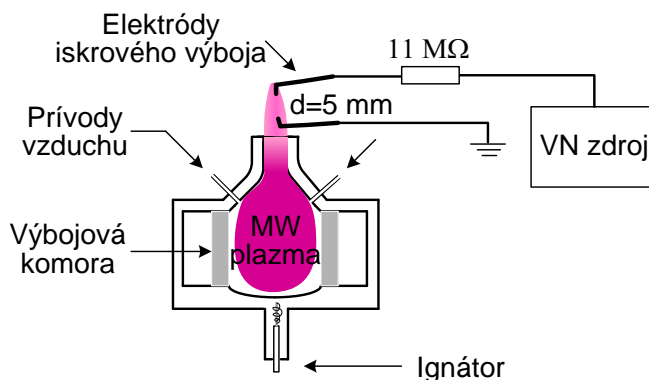


Obrázok 13. Porovnanie horizontálnych (radiálnych) profilov teploty a intenzity kombinovaného výboja v závislosti od polohy v plazme pri anóde.

4.5 Kombinácia MW + prechodová iskra

Podobne ako kombinovaný mikrovlnný výboj s tlecím sme skúmali aj kombináciu mikrovlnného výboja s prechodovou iskrou. Motiváciou bolo, podobne ako v predchádzajúcom prípade tlecieho výboja, najmä sledovanie parametrov prechodovej iskry v predhriatom vzduchu, čo má význam pre plazmou asistované spaľovanie. V prácach skupiny Ecole Centrale Paris [33, 34] sa využíva nanosekundový opakovaný pulzný (NRP) výboj, ktorý dokáže za veľmi nízkej spotreby energie rozširovať rozsah podmienok horenia plameňa aj v chudobných zmesiach. Prechodová iskra vyvinutá v našej skupine [17, 35] má vlastnosti trochu podobné NRP výboju: krátke pulzy s trvaním < 100 ns, opakovacia frekvencia rádovo v kHz, prúdové amplitúdy rádovo v A, preto má zmysel skúmať ju vo vzduchu pri vyšších teplotách a otestovať jej možnosti pre zlepšenie parametrov

horenia. V nasledujúcej časti sme teda skúmali prechodovú iskru aplikovanú v mikrovlnnej plazme (ob. 14), ktorá spôsobuje predohrev a pred-ionizáciu plynu.

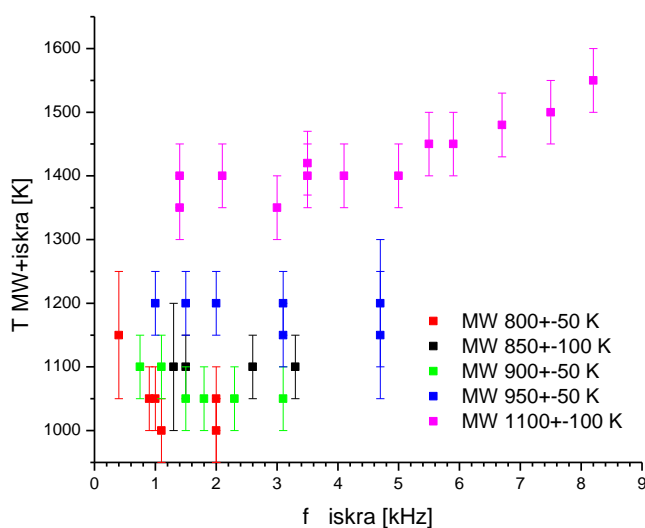


Obrázok 14. Kombinácia MW fakľového výboja s prechodovou iskrou – iskrový výboj horí medzi hrotmi elektród vo vertikálnej osi MW plazmy.

V tomto prípade sme boli schopní generovať aj samotný iskrový výboj vo vzduchu izbovej teploty. Zápalné napätie bolo však značne vyššie ako pri kombinácii s mikrovlnným výbojom. Samotný iskrový výboj pri prietoku studeného vzduchu 20 l/min sa zapálil pri napätí približne 10 kV. V prípade kombinovaného výboja pri prietoku 5 l/min a teplote 1200 K bolo zápalné napätie 4 kV. Je zrejmé, že mikrovlnný výboj pôsobí ako dobrý predohrev a „pred-ionizátor“.

4.5.1 určovanie teploty kombinovabého výboja MW + prechodová iskra

Teplotu kombinovaného výboja sme určovali z N_2 spektier, avšak táto teplota je len akousi priemernou teplotou z časovo integrovaných spektier a na skutočné meranie teploty by bolo potrebné nasnímať časovo rozlíšené spektrá pomocou ICCD kamery a monochromátora. Pri meraniach sme postupovali tak, že najprv sme pomocou korónovej sondy určili teplotu samotnej MW plazmy. Až potom sme v MW plazme generovali iskrový výboj a následne sme zmerali teplotu kombinovaného výboja. Merania sme urobili pre viaceré teploty MW plazmy. Na obrázku 15 je znázornená závislosť teploty kombinovaného výboja od frekvencie prechodovej iskry. S teplotou MW plazmy rastie aj teplota kombinovaného výboja.



Obrázok 15. Teplota kombinovaného výboja MW+iskra v závislosti od frekvencie iskry, pri rôznych teplotách MW výboja.

5 Záver

Základom práce bol výskum mikrovlnného fakľového výboja v dusíku a vo vzduchu pri atmosférickom tlaku ako i kombinácia tohto výboja s korónovým, tlecím a prechodovým iskrovým výbojom. Na diagnostiku generovanej plazmy sme využívali najmä optickú emisnú spektroskopiu.

Pri experimentoch v dusíku sme sa zamerali hlavne na analýzu emisných spektier výboja generovaného v rôznych podmienkach pri rôznych MW výkonoch a prietokoch. Ukázali sme, ako sa mení vyžarovanie i tvar vyfukovanej plazmy pri zmene týchto parametrov. Vykonali sme aj priestorovú charakteristiku generovaného výboja, aby sme zistili priestorové rozloženie vyžarovania v rôznych polohách od osi plazmy a pre rôzne výšky. Ukázalo sa, že emisivita s rastúcou vzdialenosťou od osi plazmy a takisto s rastúcou výškou klesá pre všetky skúmané prechody, výnimkou bolo len vyžarovanie NO.

Následne sme generovali MW výboj v atmosférickom vzduchu, z technických dôvodov však pri nižšom výkone magnetrónu. Napriek tomu, že sme očakávali podobné správanie ako v dusíku, tentoraz sme vo výboji nedetekovali žiadne vyžarovanie molekulových spektier. Za najvýznamnejší prínos našej práce preto považujeme vývin novej metódy, ktorou sme vyriešili problém merania teploty generovanej mikrovlnnej plazmy blízkej LTE aj bez vhodného (resp. žiadneho) vyžarovania, ktoré by sa dalo využiť na priame určenie teploty pomocou optickej emisnej spektroskopie. Metóda je založená na kombinácii MW výboja s korónovým a teplotu MW výboja určujeme ako rotačnú teplotu dusíka, ktorý je excitovaný v korónovom výboji.

Posledné kapitoly práce popisujú experimenty, kde sme opäť kombinovali mikrovlnný výboj, v tomto prípade s tlecím a prechodovým iskrovým výbojom. Tieto kombinované výboje sme skúmali hlavne z hľadiska vyžarovania a určovali sme aj teplotu plynu v nich, ktorá je veľmi dôležitým parametrom pre prípadné ďalšie využitie pri objemovom škálovaní, plazmou asistovanom spaľovaní a iných aplikáciách. Záverom možno konštatovať, že sme splnili stanovené ciele dizertačnej práce, aj keď k pôvodne plánovanému objemovému škálovaniu výbojov sme sa nakoniec nedostali. Experimentami, v ktorých sme spoznali vlastnosti takýchto kombinovaných výbojov sme si však vytvorili dobrú štartovaciu pozíciu pre ďalší výskum. Naopak, splnili sme jeden cieľ navyše, keď nás postretli nepredvídané problémy pri určovaní teploty MW plazmy vo vzduchu a podarilo sa nám vyvinúť a otestovať novú a jednoduchú metódu korónovej sondy na meranie teploty, aplikovateľnú všeobecne na horúce plyny a plazmu blízku LTE s teplotami 300 - 2000 K.

Summary

Atmospheric pressure microwave (MW) plasmas present considerable interest for various industrial or environmental applications. The main advantage of MW plasmas is electrodeless operation, availability of cheap microwave sources at 2.45 GHz, good microwave to plasma energy coupling and no need of vacuum devices if operated at atmospheric pressure. MW torches are sometimes used to preheat gases to high temperatures needed for other applications or for studying other discharge plasmas in preheated gases. We present spectroscopic investigations of atmospheric pressure afterglow plasmas generated by MW torch in nitrogen and air. We employ optical diagnostics: emission spectroscopy to characterise the plasma jet.

In the first part of this work we analyzed the emission spectra of MW discharge generated in pure nitrogen and in nitrogen with small oxygen admixture. We also measured the plasma temperatures and analyzed spatial characteristics of MW discharge at various powers and gas flow rates. In the second part we examined MW plasma generated in air at atmospheric pressure. It showed out that the emission or rather the absence of molecular spectra at low MW powers is the limitation factor for performing the spectroscopic characteristics and direct temperature measurements of the generated plasma. This is why we developed and tested a new method for temperature measurements of near-thermal equilibrium air plasmas at atmospheric pressure. We demonstrated that this so-called corona probe method (where the corona discharge is placed into the MW plasma) can be generally applied to determine the temperature of the near-equilibrium plasmas and contrary to the thermocouple it is not limited to temperatures below 1000 °C or affected by radiative losses and the problems of interaction with the microwave plasma and electromagnetic fields.

Since there are many applications where large volume plasmas are needed and there is a good chance of expanding the volume of DC discharges by combining them with MW plasma as some previous works suggested, in the last part of our work the basic properties and behaviour of combined MW and glow (or MW and spark) discharges were examined. Spectroscopic study of these combined discharges, especially the transient spark in the gas preheated by MW plasma, is also important for the plasma assisted combustion applications.

Použitá literatúra

- [1] C. O. Laux, T. G. Spence, C. H. Kruger, R. N. Zare: *Plasma Sources Sci. Technol.* **2** (2003) 125–138
- [2] Z. Machala, C. O. Laux, C. H. Kruger: 42nd Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 5-8 January 2004, Reno, Nevada AIAA 2004-355
- [3] Z. Machala, I. Jedlovský, V. Martišovitš: *IEEE Trans. Plasma Sci.* **36** (2008) 918-919
- [4] V. Martišovitš: *Základy fyziky plazmy*, Učebný text pre 3. ročník magisterského štúdia, Univerzita Komenského, Bratislava, 2004

- [5] K. H. Becker, U. Kogelschatz, K. H. Schoenbach, R. J. Barker (editors): Non-equilibrium air plasmas at atmospheric pressure, Series in plasma physics, Institute of physics publishing, Ltd. 2005
- [6] J. Chen, J. H. Davidson: Plasma Chemistry and Plasma Processing, Vol. **22**, No. 4, December 2002 (2002)
- [7] M. Arif Malik, J. F. Kolb, Y. Sun, K. H. Schoenbach: J. Hazard. Mater. **197** (2011) 220-228
- [8] W. Wang, Z. Zhao, F. Liu, S. Wang: Journal of Electrostatics **63** (2005) 155–164
- [9] Y. Yankelevich, M. Wolf¹, R. Baksht¹, A. Pokryvailo, J. Vinogradov, B. Rivin, E. Sher: Plasma Sources Sci. Technol. **16** (2007) 386–391
- [10] M. Korachi, Z. Turan , K. Senturk , F. Sahin , N. Aslan: Journal of Electrostatics **67** (2009) 678–685
- [11] Z. Machala, I. Jedlovský, L. Chládeková, B. Pongráč, D. Giertl, M. Janda, L. Šikurová, P. Polčic, Eur. Phys. J. D **54** (2009) 195-204
- [12] Z. Šipoldová, Z. Machala: IEEE Trans. Plasma Sci. Vol. **39**, NO. 11 (2011) 2970-2971
- [13] M. Jariyaboon, P. Moller , R.E. Dunin-Borkowski, S.-I. In , I. Chorkendorff , R. Ambat Corrosion Science 52 (2010) 2155–2163
- [14] J. Píchal, J. Koller, L. Aubrecht: Czechoslovak Journal of Physics, Vol. **54**, Suppl. C (2004)
- [15] Z. Machala, E. Marode, Ch. O. Laux, Ch. H. Kruger: J. Adv. Oxid. Technol. Vol. **7**, No. 2 (2004) 133-137
- [16] P. Zhang, U. Kortshagen: IEEE Trans. Plasma sci.,VOL. **33**, NO. 2, (2005) S 318
- [17] Z. Machala: *Continuous and transient electrical discharges, streamer triggered, at atmospheric pressure, for the removal of Volatile Organic Compounds (VOC)*, Ph.D. thesis, University Paris-Sud XI France; Comenius University, Slovakia, 2000
- [18] Z. Machala: Čs. čas. fyz. **59** (6) (2009) 370-376
- [19] K.M. Green, M.C. Borrás, P.P. Woskov: IEEE Trans. Plasma Sci.**29** (2001) 399
- [20] M. Leins, A. Schulz, M. Walker, U. Schumacher, U. Stroth: IEEE Trans. Plasma Sci. **36** (2008), 982-983
- [21] S.Y. Moon, W. Choe, H.S. Uhm, Y.S. Hwang, J.J. Choi: Phys. Plasmas **9** (2002) 4045
- [22] T. Fleisch, Y. Kabouzi, M. Moisan, J. Pollak, E. Castanos-Martinez, H. Nowakowska, Z. Zakrzewski: Plasma Sources Sci. Technol. **16** (2007) 173–182
- [23] M. Jasiński, J. Mizeraczyk, Z. Zakrzewski: *Spectroscopic measurements of electron density in surface wave sustained argon discharge at atmospheric pressure*, XXVIIth ICPIG, Eindhoven, the Netherlands, 18-22 July, 2005
- [24] K.M. Green, M.C. Borrás, P.P. Woskov: IEEE Trans. Plasma Sci.**29** (2001) 399
- [25] R. Alvarez, M.C. Quintero, A. Rodero: Spectrochimica Acta Part B **59** (2004) 709–721
- [26] Y. Babou, P. Riviere, M.-Y. Perrin, A. Soufiani: Plasma Sources Sci. Technol. **17** (2008) 045010 (11pp)
- [27] H. S. Uhm, Y. C. Hong, D. H. Shin: Plasma Sources Sci. Technol. **15** (2006) S26–S34
- [28] L. Zajickova, M. Elias, O. Jasek, V. Kudrle, Z. Frgala, J. Matejkova, J. Bursik, M. Kadlecikova : Plasma Phys. Control. Fusion **47** (2005) 1-12
- [29] O. Jašek, M. Eliáš, L. Zajíčková, V. Kudrle, M. Bublan, J. Matejková, A. Rek, J. Buršík, M. Kadlečiková: Materials Science and Engineering C **26** (2006) 1189–1193
- [30] K. Hadidi, P. Woskov, K. Green, G. Flores III, P. Thomas: *Trace hazardous metals detection with an atmospheric microwave-generated plasma*, The 26th IEEE international conference on plasma science Monterey, CA (US), 1999
- [31] L. Leštinská, V. Martišovitš, Z. Machala: Journal of Quantitative Spectroscopy &

Radiative Transfer **112** (2011) 2779–2786

- [32] C.H. Kruger, C.O. Laux, Z. Machala, G.V. Candler: *Scaled-up nonequilibrium air plasmas*, Final Technical Report, Air Force Office of Scientific Research, Stanford University, Standord 2004
- [33] D. Z. Pai, D. A. Lacoste, Ch. O. Laux: JOURNAL OF APPLIED PHYSICS **107** (2010) 093303
- [34] G. Pilla, D. Galley, D.A. Lacoste, F. Lacas, D. Veynante, C. O. Laux: IEEE Trans. Plasma. Sci. **34**, Issue 6 (2006) 2471 – 2477
- [35] Z. Machala, M. Janda, K. Hensel, I. Jedlovský, L. Leštinská, V. Foltin, V. Martišovits, M. Morvová: J. Molec. Spectrosc. **243** (2007) 194-201

Zoznam publikačnej činnosti

ADC Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch

ADC01 Foltin, Viktor - Leštinská, Lenka - Machala, Zdenko : Spectroscopic investigations of atmospheric pressure microwave torch nitrogen plasma jet
Lit. 15 zázň., 12 obr.

In: Czechoslovak Journal of Physics. - Vol. 56, Suppl. B (2006), s. B712-B719

[SPPT 2006 : Symposium on Plasma Physics and Technology. 22nd, Praha, 26.-29.6.2006]

POZNÁMKA: Vyšlo aj ako abstrakt - 22nd Symposium on Plasma Physics and Technology : Programme and Abstracts. - Praha : ČVUT FEL, 2006. - S. 36. - ISBN 80-01-03506-9

Ohlasy (3):

[o1] 2007 Jiang, J. - Huan, Y. F. - Jin, W. - Feng, G. D. - Fei, Q. - Cao, Y. B. - Jin, Q. H.: Development of a high resolution simultaneous microwave plasma torch spectrometer. In: Spectroscopy and Spectral Analysis, Vol. 27, No. 11, 2007, s.2375-2379 - SCI

[o1] 2008 Nakayama, T. - Kawahara, N. - Tomita, E. - Ikeda, Y.: High temporally resolved optical measurement for laser ignition process of laminar premixed mixtures. In: Nihon Kikai Gakkai Ronbunshu B/Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers B, Vol. 74, No. 7, 2008, s. 1633-1640 - SCOPUS

[o1] 2011 Nowakowska, H. - Jasinski, M. - Debicki, P. S. - Mizeraczyk, J.: Numerical analysis and optimization of power coupling efficiency in waveguide-based microwave plasma source. In: IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 39, No. 10, 2011, Art. No. 6003795, s. 1935-1942 - SCI ; SCOPUS

ADC02 Machala, Zdenko 50% - Janda, Mário 10% - Hensel, Karol 10% - Jedlovský, Igor 5% - Leštinská, Lenka - Foltin, Viktor 5% - Martišovits, Viktor 5% - Morvová, Marcela 5%: Emission spectroscopy of atmospheric pressure plasmas for bio-medical and environmental applications
Lit. 25 zázň.

In: Journal of Molecular Spectroscopy. - Vol. 243, No. 2 (2007), s. 194-201

Ohlasy (65):

[o1] 2007 Ratcliffe, L. V. - Rutten, F. J. M. - Barrett, D. A. - Whitmore, T. - Seymour, D. - Greenwood, C. - Aranda-Gonzalvo, Y. - Robinson, S. - McCoustra, M.: Surface Analysis under Ambient Conditions Using Plasma-Assisted Desorption/Ionization Mass Spectrometry. In: Analytical Chemistry, Vol. 79, No. 16, 2007, s. 6094-6101 - SCI ; SCOPUS

[o1] 2007 Su, P. H. - Zhu, Y. M. - Chen, H. F.: Morphology determination of ionization region in multi-needle-to-plate negative corona discharge. In: Spectroscopy and Spectral Analysis, Vol. 27, No. 11, 2007, s. 2171-2174 - SCI

[o1] 2008 Babou, Y. - Riviere, P. - Perrin, M.-Y. - Soufiani, A.: Spectroscopic study of microwave plasmas of CO₂ and CO₂-N₂ mixtures at atmospheric pressure. In: Plasma Sources Science and Technology, Vol. 17, No. 4, 2008, Art. No. 045010 -SCI ; SCOPUS

[o1] 2008 Bruggeman, P. - Ribel, E. - Maslani, A. - Degroote, J. - Malesevic, A. - Rego, R. - Vierendeels, J. - Leys, C.: Characteristics of atmospheric pressure air discharges with a liquid cathode and a metal anode. In: Plasma Sources Science and Technology, Vol. 17, No. 2, 2008, Art. No. 025012 - SCOPUS

[o1] 2008 Bruggeman, P. - Liu, J. - Degroote, J. - Kong, M. G. - Vierendeels, J. - Leys, C.: Dc excited glow discharges in atmospheric pressure air in pin-to-water electrode systems. In: Journal of Physics D-Applied Physics, Vol. 41, No. 21, 2008, Art. No. 215201 - SCI

[o3] 2008 Černiak V. J. - Prisiažnevič, I. V. - Oľševskij, S. V. - Juchimenko, V. V. - Ščedrin, A. I. - Levko, D. S. - Rjabcev, A. V.: Poperečnyje električeskije gazovyje razrjady dľa plazmo-židkostnyh sistem. In: ISTAPC 2008: 5th International Symposium on Theoretical and Experimental Plasma Chemistry. Moskva : RAN, 2008, [S. 1-2]

- [o1] 2008 Guo, Y. F. - Liao, X. B. - Ye, D. Q.: Detection of hydroxyl radical in plasma reaction on toluene removal. In: *Journal of Environmental Sciences-China*, Vol. 20, No. 12, 2008, s. 1429-1432 - SCI ; SCOPUS
- [o3] 2008 Prsyazhnevych, I. - Chernyak, V. - Olszewski, S. - Yukhymenko, V.: Plasma properties of transverse ARC at atmospheric pressure. In: *ELMECO-6: International Conference on Electromagnetic Devices and Processes in Environment Protection*. Lublin : Lublin University of Technology, 2008, S. 23-24
- [o1] 2008 Prsyazhnevych, I. - Chernyak, V. - Olszewski, S. - Yukhymenko, V.: Plasma properties of transverse blowing ARC under atmospheric pressure. In: *Chemické listy*, Vol. 102, No. 16, Sp. Iss., 2008, s. s1403-s1407 - SCOPUS
- [o1] 2008 Shiki, H. - Ito, Y. - Takikawa, H. - Usuki, E. - Okawa, T. - Yamanaka, S. - Nishimura, Y. - Hishida, S.: Fundamental properties of 4-in-1 Plasma ENergized-Jet at atmospheric pressure. In: *Vacuum*, Vol. 83, No. 1, 2008, s. 29-33 - SCI; SCOPUS
- [o1] 2008 Su, P.-H. - Zhu, Y.-M. - Yang, S.: Using OES to measure distribution of energetic electron in multi-needle-to-plate corona discharge. In: *Journal of Electrostatics*, Vol. 66, No. 3-4, 2008, s. 193-196 - SCOPUS
- [o3] 2009 Blajan, M. - Ishii, T. - Mimura, H. - Shimizu, K.: Emission spectrometry of microplasma for NO_x removal process. In: *ISPC 19: International Symposium on Plasma Chemistry: Proceedings (CD ROM)*. Bochum : Ruhr University, 2009, 4 s.
- [o1] 2009 Bruggeman, P. - Schram, D. - Gonzalez, M. A. - Rego, R. - Kong, M. G. - Leys, C.: Characterization of a direct dc-excited discharge in water by optical emission spectroscopy. In: *Plasma Sources Science and Technology*, Vol. 18, No.2, 2009, Art. No. 025017 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2009 Bruggeman, P. - Schram, D. C. - Kong, M. G. - Leys, C.: Is the Rotational Temperature of OH(A-X) for Discharges in and in Contact with Liquids a Good Diagnostic for Determining the Gas Temperature?. In: *Plasma Processes and Polymers*, Vol. 6, No. 11, 2009, s. 751-762 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2009 Garamoon, A. A. - El-zeer, D. M.: Atmospheric pressure glow discharge plasma in air at frequency 50 Hz. In: *Plasma Sources Science & Technology*, Vol. 18, No. 4, 2009, Ar. No. 045006 - SCI ; SCOPUS
- [o3] 2009 Chernyak, V. Ya. - Olshevskii, S. V. - Yukhymenko, V. v. - Shchedrin, A. I. - Levko, D. S. - Naumov, V. V. - Nedybalyuk, O. A. - Sidoruk, S. M. - Demchina, V. P. - Kudryavzev, V. S.: Plasma reforming of liquid hydrocarbons into freehydrogen for the use in the aerospace technologies. In: *Bridging the Ukrainian Aeronautics Industry with the European Union*. Kiev : Frantsevich Institute for Problems of Materials Science, 2009, [nestr.]
- [o3] 2009 Chernyak, V. - Shevchenko, T.: Electric discharge plasma reforming of liquid hydrocarbons into free hydrogen for the use in the aerospace technologies. In: *Bridging the Ukrainian Aeronautics Industry with the European Union*. Kiev :Frantsevich Institute for Problems of Materials Science, 2009, [nestr.]
- [o3] 2009 Jamroz, P.: The spectroscopic study of a glow discharge generated between pin electrode and water in open air atmosphere. In: *ISPC 19: International Symposium on Plasma Chemistry: Proceedings (CD ROM)*. Bochum : Ruhr University, 2009,4 s.
- [o1] 2009 Jin, J. - Kim, J. - Kim, Y.: Effect of duty cycle on atmospheric plasma generation using micromachined electrodes. In: *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 48, No. 4, part 2 SI, 2009, Art. No. 04c196 - SCI
- [o1] 2009 Keskin, S. S. - Aslan, N. - Bayrakceken, N.: Optical properties and chemical behavior of Laser-dye Coumarin-500 and the influence of atmospheric corona discharges. In: *Spectrochimica Acta Part A-Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, Vol. 72, No. 2, 2009, s. 254-259 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2009 Lu, X. P. - Xiong, Q. - Xiong, Z. L. - Hu, J. - Zhou, F. - Gong, W. W. - Xian, Y. B. - Zhou, C. L. - Tang, Z. Y. - Jiang, Z. H. - Pan, Y.: A cold plasma cross made of three bullet-like plasma plumes. In: *Thin Solid Films*, Vol. 518, No. 3, 2009, s. 967-970 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2009 Srivastava, N. - Wang, C. - Dibble, T. S.: A study of OH radicals in an atmospheric AC discharge plasma using near infrared diode laser cavity ringdown spectroscopy combined with optical emission spectroscopy. In: *European Physical Journal D*, Vol. 54, No. 1, 2009, s. 77-86 - SCI
- [o3] 2009 Vannini, L. - Montanari, C. - Berardinelli, A. - Ragni, L. - Sirri, F. - Guerzoni, M. E.: Assessment of the efficacy of a low-temperature gas plasma prototype for superficial decontamination of table eggs. In: *19th European Poultry Symposium on Quality of Poultry Meat*. Turku : WPSA, 2009, Art. No. EO29, 8 s. http://www.cabi.org/animalscience/Uploads/File/AnimalScience/additionalFiles/WPSATurku2009/47_eggmeat2009_vannini_EO29.pdf
- [o1] 2009 Wang, C. J. - Srivastava, N. - Scherrer, S. - Jang, P. R. - Dibble, T. S. - Duan, Y. X.: Optical diagnostics of a low power-low gas flow rates atmospheric-pressure argon plasma created by a microwave plasma torch. In: *Plasma Sources Science & Technology*, Vol. 18, No. 2, 2009, Art. No. 025030 - SCI ; SCOPUS
- [o3] 2009 Welzel, S.: New Enhanced Sensitivity Infrared Laser Spectroscopy Techniques Applied to Reactive Plasmas and Trace Gas Detection. Greiswald : Ernst-Moritz-Arndt-Universität, 2009, S. 68
- [o1] 2009 Xian, Y. B. - Lu, X. P. - Cao, Y. G. - Yang, P. - Xiong, Q. - Jiang, Z. H. - Pan, Y.: On plasma bullet behavior. In: *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol. 37, No. 10, Part 2, 2009, s. 2068-2073 - SCI
- [o1] 2010 Akishev, Y. - Grushin, M. - Karalnik, V. - Petryakov, A. - Trushkin, N.: Non-equilibrium constricted dc glow discharge in N₂ flow at atmospheric pressure: Stable and unstable regimes. In: *Journal of Physics D*, Vol. 43, No. 7, 2010, Art. No. 075202 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2010 Akishev, Y. - Grushin, M. - Karalnik, V. - Petryakov, A. - Trushkin, N.: On basic processes sustaining constricted glow discharge in longitudinal N₂ flow at atmospheric pressure. In: *Journal of Physics D*, Vol. 43, No. 21, 2010, Art.No. 215202 - SCI ; SCOPUS

- [o1] 2010 Asandulesa, M. - Topala, I. - Dumitrascu, N.: Effect of helium DBD plasma treatment on the surface of wood samples. In: *Holzforschung*, Vol. 64, No. 2, 2010, s. 223-227 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2010 Begliarbekov, M. - Tarnovsky, V. - Collins, T. - Kotowich, S.: Effects of microfilaments on DC plasma torches and afterglows. In: *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol. 38, No. 4, Part 4, 2010, s. 990-995 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2010 Blajan, M. - Umeda, A. - Muramatsu, S. - Shimizu, K.: Emission spectroscopy of pulsed powered microplasma for surface treatment of PEN film. In: *Conference Record - IAS Annual Meeting*. New York : IEEE, 2010, Art. No. 5614482 - SCI ;SCOPUS
- [o3] 2010 Blajan, M. - Muramatsu, S. - Ishii, T. - Mimura, H. - Shimizu, K.: Emission spectroscopy of microplasma driven by a pulsed power supply. In: *Journal of the Institute of Electrostatics Japan*, Vol. 34, No. 2, 2010, s. 99-104
- [o3] 2010 Blajan, M. - Shimizu, K.: Diagnostics of pulsed powered microplasma discharge in N₂ by emission spectroscopy. In: *7th ICRP and 63rd GEC 2010*. Paris : CNRS, 2010, Art. No. SDTP-177, 2 s.
- [o1] 2010 Guo, Y. - Liao, X. - He, J. - Ou, W. - Ye, D.: Effect of manganese oxide catalyst on the dielectric barrier discharge decomposition of toluene. In: *Catalysis Today*, Vol. 153, No. 3-4, 2010, s. 176-183 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2010 Hrycak, B. - Jasinski, M. - Mizeraczyk, J.: Spectroscopic investigations of microwave microplasmas in various gases at atmospheric pressure. In: *European Physical Journal D*, Vol. 60, No. 3, 2010, s. 609-619 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2010 Pai, D. Z. - Lacoste, D. A. - Laux, C. O.: Nanosecond repetitively pulsed discharges in air at atmospheric pressure-the spark regime. In: *Plasma Sources Science and Technology*, Vol. 19, No. 6, 2010, s. Art. No. 065015 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2010 Park, H. - Jeong, J. - Kim, Y.: Current controlled Plasma-on-a-chip for atmospheric plasma generation. In: *Technical Proceedings of the 2010 NSTI Nanotechnology Conference and Expo.*. Danville : NSTI, 2010, S. 356-359 - SCOPUS
- [o3] 2010 Pierce, D. K. - Mortenson, M. G. - Bryce, D. A.: Continuous methods for treating liquids and manufacturing certain constituents (e.g., nanoparticles) in liquids, apparatuses and nanoparticles and nanoparticle/liquid solution(s)resulting therefrom. In: *National and PCT Collections*, No. Patent WO/2009/009143. Geneva : World Intellectual Property Organization, 2009, 53 s.
- [o1] 2010 Ragni, L. - Berardinelli, A. - Vannini, L. - Montanari, C. - Sirri, F. - Guerzoni, M. E. - Guarneri, A.: Non-thermal atmospheric gas plasma device for surface decontamination of shell eggs. In: *Journal of Food Engineering*, Vol. 100, No. 1, 2010, s. 125-132 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2010 Shimizu, K. - Yamada, M. - Kanamori, M. -, Blajan, M.: Basic study of bacteria inactivation at low discharge voltage by using microplasmas. In: *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 46, No. 2, 2010, s. 641-649 - SCI ;SCOPUS
- [o1] 2010 Shimizu, K. - Ishii, T. - Blajan, M.: Emission spectroscopy of pulsed power microplasma for atmospheric pollution control. In: *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 46, No. 3, 2010, s. 1125-1131 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2010 Walsh, J. L. - Iza, F. - Janson, N. B. - Law, V. J. - Kong, M. G.: Three distinct modes in a cold atmospheric pressure plasma jet. In: *Journal of Physics D*, Vol. 43, No. 7, 2010, Art. No. 075201 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2011 Blajan, M. - Umeda, A. - Shimizu, K.: Surface treatment of glass by microplasma. In: *IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society)*. New York : IEEE, 2011, Art. No. 6074288 - SCOPUS
- [o1] 2011 Blajan, M. - Umeda, A. - Muramatsu, S. - Shimizu, K.: Emission spectroscopy of pulsed powered microplasma for surface treatment of PEN film. In: *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 47, No. 3, 2011, s. 1100-1108 - SCOPUS
- [o1] 2011 Ewais, E. M. M. - Barg, S. - Grathwohl, G. - Garamoon, A. A. - Morgan, N. N.: Processing of open porous zirconia via alkane-phase emulsified suspensions for plasma applications. In: *International Journal of Applied CeramicTechnology*, Vol. 8, No. 1, 2011, s. 85-93 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2011 Garamoon, A. A. - El-Zeer, D. M. - Abd El- Ghany, A. - Ghoneem, D. - El-Hossary, F.: Influences of the barrier types and arrangements on dielectric barrier discharge characteristics. In: *European Physical Journal - Applied Physics*, Vol. 53, No. 2, 2011, Art. No. 21001 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2011 Horvath, G. - Krcma, F. - Polachova, L. - Klohnova, K. - Mason, N. J. - Zahoran, M. - Matejcik, S.: 10 Organic chemistry of NH₃ and HCN induced by an atmospheric abnormal glow discharge in N₂-CH₄ mixtures. In: *European PhysicalJournal - Applied Physics*, Vol. 53, No. 1, 2011, Art. No. 11001 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2011 Ionita, M. D. - Teodorescu, M. - Acsente, T. - Bazavan, M. - Ionita, E. R. - Dinescu, G.: Remote surface modification of polymeric foils by expanding atmospheric pressure radiofrequency discharges. In: *Romanian Journal in Physics*, Vol. 56, 2011, s. 132-138 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2011 Jamroz, P. - Zyrnicki, W.: Spectroscopic characterization of miniaturized atmospheric-pressure dc glow discharge generated in contact with flowing small size liquid cathode. In: *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, Vol. 31, No. 5, 2011, s. 681-696 - SCOPUS
- [o1] 2011 Jankowski, K. J. - Reszke, E.: Principles of operation and construction of microwave plasma cavities. In: *Microwave Induced Plasma Analytical Spectrometry*. Cambridge : Royal Society of Chemistry, 2011, S. 37-93 - SCI ; SCOPUS

- [o1] 2011 Julák, J. - Janoušková, O. - Scholtz, V. - Holada, K.: Inactivation of prions using electrical dc discharges at atmospheric pressure and ambient temperature. In: Plasma Processes and Polymers, Vol. 8, No. 4, 2011, s. 316-323 - SCI ; SCOPUS
- [o3] 2011 Julák, j. - Scholtz, V. - Kotúčová, S. - Janoušková, O.: The persistent microbicidal effect in water exposed to the corona discharge. In: Physica Medica, 2011, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1120179711001177>
- [o1] 2011 Kim, H. H. - Ogata, A.: Gas-to-particle conversion in surface discharge nonthermal plasmas and its implications for atmospheric chemistry. In: Sensors, Vol. 11, No. 3, 2011, s. 2992-3003 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2011 Mavadat, M. - Ricard, A. - Sarra-Bournet, C. - Laroche, G.: Determination of ro-vibrational excitations of N₂(B, v?) and N₂(C, v?) states in N₂ microwave discharges using visible and IR spectroscopy. In: Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 44, No. 15, 2011, Art. No. 155207 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2011 Nastuta, A. V. - Topala, I. - Grigoras, C. - Pohoata, V. - Popa, G.: Stimulation of wound healing by helium atmospheric pressure plasma treatment. In: Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 44, No. 10, 2011, Art. No. 105204 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2011 Nekahi, A. - Farzaneh, M.: Rotational temperature measurement of an arc formed over an ice surface. In: IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 18, No. 3, 2011, s. 755-759 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2011 Pai, D. Z.: Nanomaterials synthesis at atmospheric pressure using nanosecond discharges. In: Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 44, No. 17, 2011, Art. No. 174024 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2011 Park, H. - Kim, Y.: Active-current-controlled atmospheric-plasma generation using a plasma-on-a-chip. In: IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 39, No. 4, Part 2, 2011, s. 1110-1113 - SCI
- [o1] 2011 Reghu, T. - Kumar, M. - Biswas, A. K. - Kukreja, L. M.: A sensitive arc detection technique for reliable operation of high repetition rate TEA CO₂ laser. In: Optics and Laser Technology, Vol. 43, No. 4, 2011, s. 904-910 - SCI ; SCOPUS
- [o3] 2011 Shimizu, K. - Komuro, Y. - Tatematsu, S. - Blajan, M.: Study of sterilization and disinfection in room air by using atmospheric microplasma. In: Pharmaceutica Analytica Acta, 2011, <http://www.omicsonline.org/2153-2435/2153-2435-S1-001.php>
- [o1] 2011 Srivastava, N. - Wang, C.: Determination of OH radicals in an atmospheric pressure helium microwave plasma jet. In: IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 39, No. 3, 2011, Art. No. 5702272, s. 918-924 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2011 Weng, G. - Ma, Z.: Plasma emission spectroscopy of methyl bromide. In: Qiangguang Yu Lizhishu/High Power Laser and Particle Beams, Vol. 23, No. 12, 2011, s. 3391-3394 - SCOPUS
- [o1] 2012 Erofeev, M. V. - Lomaev, M. I. - Sorokin, D. A. - Tarasenko, V. F.: Emission of cyan upon excitation of nitrogen, air, and N₂-CH₄ mixture by discharge pulses in an inhomogeneous electric field. In: Optics and Spectroscopy (English translation of Optika i Spektroskopiya), Vol. 112, No. 1, 2012, s. 36-43 - SCI ; SCOPUS
- [o1] 2012 Hueso, J. L. - Rico, V. J. - Yanguas-Gil, A. - Cotrino, J. - Gonzalez-Eliphe, A. R.: Optical Emission Spectroscopic Evaluation of different microwave plasma discharges and its potential application for sterilization processes. In: Plasma for Bio-decontamination, Medicine and Food Security : NATO Science for Peace and Security Series A - Chemistry and Biology. Dordrecht : Springer, 2012, S. 121-132 - SCOPUS
- [o3] 2012 Smyaglikov, I. P. - Chekan, N. M. - Akula, I. P. - Pobal, I. L. - Rajczyk, J.: Spectroscopic diagnostics of a pulsed arc plasma in the presence of acetylene. In: Vacuum, 2012, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0042207X1200190X>

ADC03 Leštinská, Lenka - Foltin, Viktor 20% - Machala, Zdenko 30%: Atmospheric pressure nitrogen microwave plasma

Lit. 3 zázň., 2 obr.

In: IEEE Transactions on Plasma Science. - Vol. 36, No. 4 (2008), s. 962-963

Ohlasy (1):

[o1] 2011 Walsh J. L. - Kong M. G.: Portable nanosecond pulsed air plasma jet. In: Applied Physics Letters, Vol. 99, No. 8, 2011, Art. No. 081501 - SCI ; SCOPUS

ADC04 Leštinská, Lenka 50% - Martišovitéš, Viktor 30% - Machala, Zdenko 20%: Corona discharge as a temperature probe of atmospheric air microwave plasma jet

Lit. 16 zázň., 10+3 obr., 1 tab.

In: Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. - Vol. 112, No. 18 (2011), s. 2779-2786

AFC Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách

AFC01 Machala, Zdenko - Janda, Mário - Leštinská, Lenka - Jedlovský, Igor - Foltin, Viktor - Hensel, Karol : Optical emission spectroscopy of atmospheric pressure plasma for biomedical, environmental, and industrial applications
Lit. 5 zázň.

In: Moderní trendy ve fyzice plazmatu a pevných látek II. - Brno : Masarykova univerzita, 2006. - S. 72-76. - ISBN 80-210-4195-1

[Moderní trendy ve fyzice plazmatu a pevných látek 2006. 2., Hustopeče, 19.10.2006]

AFC02 Leštinská, Lenka 40 % - Foltin, Viktor 20 % - Zahoran, Miroslav 10 % - Machala, Zdenko 30 %: Spatial characteristics and application of atmospheric pressure microwave nitrogen plasma torch
Recenzované
Lit. 4 zázň.
In: 16th Annual Conference of Doctoral Students WDS '07, Part 2 : Physics of Plasmas and Ionized Media . - Praha : Matfyzpress, 2007. - S. 139-144. - ISBN 978-80-7378-024-1
[WDS 2007 : Week of Doctoral Students : Annual Conference of Doctoral Students. 16th, Praha, 5.-8.6.2007]

AFC03 Leštinská, Lenka - Martišoviš, Viktor 20% - Zahoran, Miroslav 10% - Machala, Zdenko 30%: Atmospheric pressure MW plasma for waste carbon treatment
Lit. 6 zázň., 10 obr.
In: Chemické listy. - Vol. 102, No. 16, Sp. Iss. (2008), s. s1428-s1431
[CESPC 2008 : Central European Symposium on Plasma Chemistry. 2nd, Brno, 31.8.-4.9.2008]
POZNÁMKA: Vyšlo aj ako abstrakt - 2nd Central European Symposium on Plasma Chemistry: Book of Extended Abstracts. - Brno : Masaryk University, 2008. - S. 51-52. -

AFC04 Leštinská, Lenka - Machala, Zdenko 30% - Zahoran, Miroslav 10% - Martišoviš, Viktor 20%: Waste carbon treatment by atmospheric pressure microwave plasma
Lit. 6 zázň., 6 obr.
In: HAKONE XI: Contributed Papers, Vol. 2. - Toulouse : Université Paul Sabatier, 2008. - S. 377-381
[HAKONE 2008 : International Symposium on High Pressure, Low Temperature Plasma Chemistry. 11th, Oléron Island, 7.-12.9.2008]

AFD Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách

AFD01 Leštinská, Lenka 50 % - Foltin, Viktor 20 % - Zahoran, Miroslav 10 % - Machala, Zdenko 20 %: Application of atmospheric microwave nitrogen plasma torch for carbon treatment
Lit. 2 zázň.
In: The 3rd Seminar on New Trends in Plasma Physics and Solid State Physics. - Bratislava : Knižničné a edičné centrum FMFI UK, 2007. - S. 79-81. - ISBN 978-80-89186-24-2
[Seminar on New Trends in Plasma Physics and Solid State Physics 2007. 3rd, Bratislava, 4.10.2007]

AFD02 Leštinská, Lenka 50 % - Foltin, Viktor 20 % - Martišoviš, Viktor 10 % - Machala, Zdenko 20 %: Spatial distribution of imission spectra of microwave torch plasma in atmospheric nitrogen
Lit. 4 zázň.
In: The 3rd Seminar on New Trends in Plasma Physics and Solid State Physics. - Bratislava : Knižničné a edičné centrum FMFI UK, 2007. - S. 74-78. - ISBN 978-80-89186-24-2
[Seminar on New Trends in Plasma Physics and Solid State Physics 2007. 3rd, Bratislava, 4.10.2007]

AFD03 Leštinská, Lenka 50% - Martišoviš, Viktor 20% - Machala, Zdenko 30%: Corona as temperature probe for atmospheric air microwave plasma
Lit. 14 zázň., 8 obr.
In: HAKONE XII. - Bratislava : FMFI UK, 2010. - S. 223-227. - ISBN 978-80-89186-72-3
[HAKONE 2010 : International Symposium on High Pressure Low Temperature Plasma Chemistry. 12th, Trenčianske Teplice, 12.-17.9.2010]

AFG Abstrakty príspevkov zo zahraničných konferencií

AFG01 Leštinská, Lenka - Machala, Zdenko 50%: Corona discharge as a diagnostic probe for temperature measurements of atmospheric microwave plasma [elektronický dokument]
Lit. 4 zázň., 1 obr.
In: ISPC 19: International Symposium on Plasma Chemistry: Abstracts. - Bochum : Ruhr University, 2009. - S. 246
[ISPC 2009 : International Symposium on Plasma Chemistry. 19th, Bochum, 27.-31.7.2009]

AFK Postery zo zahraničných konferencií

AFK01 Machala, Zdenko - Leštinská, Lenka - Jedlovský, Igor - Janda, Mário - Hensel, Karol - Morvová, Marcela - Martišoviš, Viktor - Foltin, Viktor - Laux, Christophe O. : Emission spectroscopy-essential diagnostics tool of atmospheric pressure plasmas for environmental, bio-medical and industrial applications
Lit. 3 zázň.
In: High Resolution Molecular Spectroscopy. - Praha : Vydavatelství VŠCHT, 2006. - S. 271. - ISBN 80-7080-

AFL Postery z domácich konferencií

AFL01 Leštinská, Lenka - Foltin, Viktor - Zahoran, Miroslav - Machala, Zdenko : Carbon beneficiation in atmospheric pressure microwave plasma

Lit. 2 zázň., 5 obr.

In: SAPP : 16th Symposium on Applications of Plasma Processes. - Bratislava : FMFI UK, 2007. - S. 215-216. - ISBN 978-80-89186-13-6

[SAPP 2007 : Symposium on Applications of Plasma Processes. 16th, Podbanské, 20.-21.1.2007]

[Research of Plasma Physics and Applications in Visegrad Countries 2007 : Workshop. Podbanské, 22.-25.1.2007]

Štatistika kategórií (Zázňamov spolu: 14):

ADC Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch (4)

AFC Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách (4)

AFD Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách (3)

AFG Abstrakty príspevkov zo zahraničných konferencií (1)

AFK Postery zo zahraničných konferencií (1)

AFL Postery z domácich konferencií (1)

Štatistika ohlasov (69):

[o1] Citácie v zahraničných publikáciách registrované v citačných indexoch (55)

[o3] Citácie v zahraničných publikáciách neregistrované v citačných indexoch (14)

28. 5. 2012