

# Elektrické výboje v plynech

L. Marek\*, P. Vrbka\*\*, J. Smrček\*\*\*

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

\*lmarek.sla@gmail.com, \*\*pavel.vr@seznam.cz,

smrcek.j@seznam.cz \*\*\*

## Abstrakt

Náš experiment se zabýval elektrickými výboji v plynech. Jeho hlavním úkolem bylo experimentálně zjištění zápalných napětí v závislosti na vzdálenosti elektrod a tlaku ve výbojovém prostoru. Všechna tato získaná data jsme poté chtěli srovnat s Paschenovým zákonem. Naším úkolem bylo sestavit výbojovou komoru a provést měření za různých tlaků a vzdáleností elektrod.

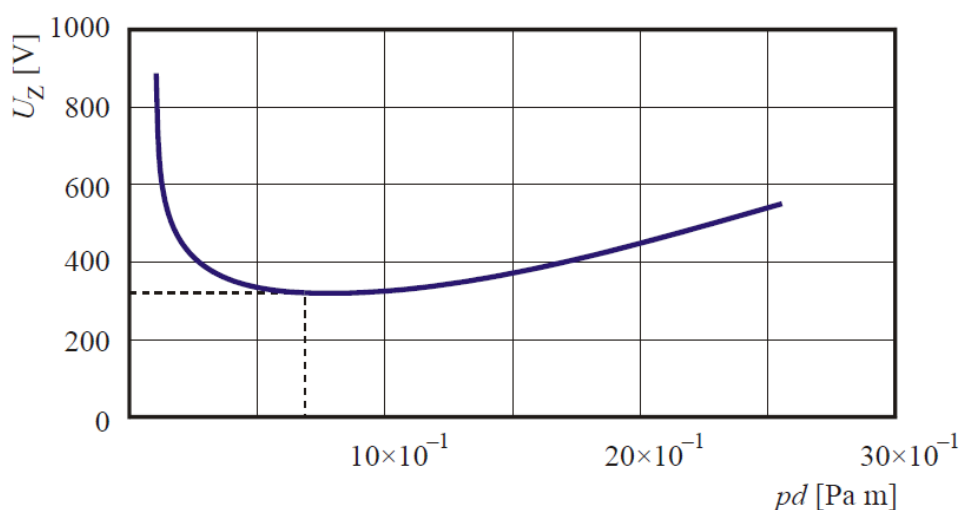
## 1 Teoretický úvod

Elektrický výboj v plynu ve vnějším elektrickém poli je fyzikální děj při, kterém se plynu dodá elek. polem za působení ionizačního činidla energie dostatečná k ionizaci, neboli ke vzniku nabitých částic (které způsobují elektrickou vodivost plynu) z částic neutrálních, jež je doprovázen akustickými a optickými jevy. Pokud je k ionizaci zapotřebí ionizační činidlo, jedná se o výboj nesamostatný, v opačném případě, když už ionizační činidlo není zapotřebí, se jedná o výboj samostatný. Hranice mezi samostatným a nesamostatným výbojem je zápalné napětí, což je napětí, při kterém je vnější elektrické pole schopno dodávat dostatečnou energii pro ionizaci plynu (následná ionizace je označována jako ionizace lavinovitá). Nabité částice během elektrického výboje mohou vznikat mnohými způsoby: emisí (uvolnění z pevné elektrody), ionizací vnějším činidlem, případně vnitřním činidlem (vznik fotonů během elektrického výboje a následná fotoionizace atd.) a nárazy elektronů a iontů. Konkurenčním procesem k ionizaci je rekombinace, kdy dochází k zanikání iontových dvojic (může nastávat v prostoru na stěnách atd.). Samostatné výboje se mohou dále dělit podle svých vlastností na výboje doutnavé, obloukové, jiskrové, korónové, temné atd. Hlavním cílem experimentu bylo dosažení zápalného napětí.

Naším hlavním teoretickým základem byl již zmíněný Paschenův zákon, který dává do souvislosti vzdálenost elektrod ve výbojovém prostoru, tlak plynu a zápalné napětí plynu. Přesné znění Paschenova zákona je: „Je-li ve dvou výbojových trubicích s rovinnými elektrodami a tímtež plynem součin  $pd$  (součin tlaku a vzdálenosti elektrod) stejný, je stejné i zápalné napětí.“ Matematické vyjádření je:

$$U_z = A \frac{pd}{\ln \left[ B \frac{pd}{\ln \left( 1 + \frac{1}{\gamma} \right)} \right]}, (pd)_{min} = \frac{2,718}{B} \ln \left( 1 + \frac{1}{\gamma} \right),$$

První výraz je právě vyjádření již zmíněné závislosti a druhý výraz je derivací podle součinu  $pd$ . Dále jsme hledali extrém, tedy jsme jej položili rovno nule a vyjádřili  $pd$ . Konstanta  $B$  je počet srážek na jednotku dráhy elektronu při jednotkovém tlaku, konstanta  $A$  poté vyjadřuje součin konstanty  $B$  a ionizačního potenciálu daného plynu a konstanta  $\gamma$  je druhá Townsendova konstanta udávající počet elektronů vzniklých nárazy iontů na elektrodu. Grafické znázornění je známo pod názvem Paschenova křivka. Samotný zákon nebyl cílem našeho experimentu. Cílem bylo potvrzení Paschenovy křivky pro vzduch.

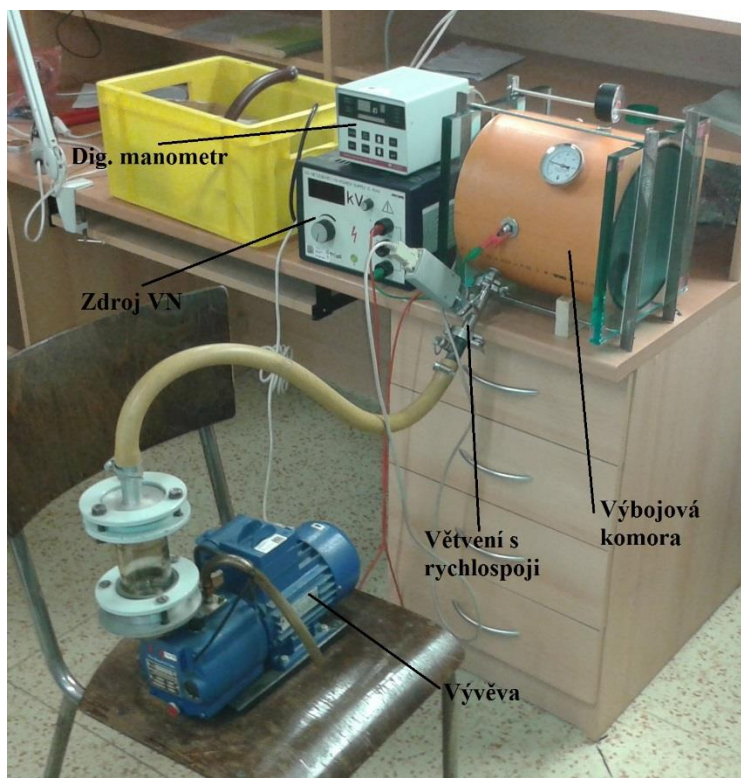


Obr. 1. Paschenova křivka pro vzduch

## 2 Výbojová komora a její konstrukce

Pro náš pokus bylo potřeba sestavit výbojovou komoru, jež by nám umožnila studovat chování elektrického výboje jak při sníženém tlaku, tak při zvýšeném. To nám kladlo určité nároky na vlastnosti komory. Bylo zapotřebí, abychom mohli z komory vysát vzduch až na tlak jednotek pascalů, což implikuje požadavek na velmi dobré těsnící schopnosti komory. Zároveň bylo nutné, aby bylo možno komoru přetlakovat, a tedy musely být všechny stěny a spoje dostatečně pevné. Technicky byla komora zkonstruována na teoretické přetlaky 4,3 bar. Tělo výbojové komory se skládá z těchto částí: PVC-U roura (vnější průměr 250 mm, výška 250 mm, tloušťka 10,4 mm), dvě skleněné desky (270x270x20 mm, 2x o-kroužky jako těsnění), upínací kostra – čtyři závitové tyče (320x6 mm; železná tyč profilu L 310 mm). Namontovaná měřicí čidla: manometr pro měření přetlaku (analogový; 1–16 bar  $\pm$  0,2 bar), manometr pro měření podtlaku (analogový; 0–1 bar  $\pm$  0,02 bar), teplotní čidlo (analogové; 0–120  $^{\circ}\text{C}$   $\pm$  2  $^{\circ}\text{C}$ ). Dalšími součástmi byl výstup pro vývěvu, zavzdušňovací ventil a samozřejmě elektrody.

Celá soustava pro provedení našeho experimentu sestávala z výbojové komory, vývěvy, rychlospoje a větvení, digitálního manometru a regulovaného zdroje vysokého napětí.



Obr. 3. Soustava pro experiment

### 3 Experiment

Experiment byl proveden se soustavou, jež je popsána a vyfotografována výše. Generátor vysokého napětí byl připojen k výbojové komoře a pomocí vakuové pumpy jsme se snažili nastolit dostatečné podmínky pro zápalné napětí, avšak neúspěšně. Během prvního měření byla nastavena vzdálenost mezi elektrodami 2 cm, avšak kvůli špatným těsnícím schopnostem výbojové komory (naměřen min. tlak 0,5 kPa), i přes maximální výkon zdroje nedošlo k lavinovité ionizaci a samostatnému výboji. Při druhém měření jsme zmenšili vzdálenost na 1 cm, ale po znovusestavení vznikly ještě větší netěsnosti (naměřen min. tlak 1,3 kPa) a k samostatnému výboji opět nedošlo. Během pokusu bylo pozorováno slabé světlování na elektrodách, jež předchází samostatnému výboji.

### 4 Závěr

K samotnému ověření Paschenovy křivky nedošlo z důvodů již zmíněných výše. Pro úspěšnost experimentu musí být dosaženo lepší těsnění výbojové komory nebo zvýšení výkonu zdroje vysokého napětí. I přes tento praktický neúspěch byla tato práce velmi přínosná. Další pokračování experimentu by mohlo být uskutečněno za použití tlakového zvonu nebo jiné vakuové soustavy.

## 5 Poděkování

Rádi bychom zde poděkovali Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za pomoc při našem experimentu a za následné rady ohledně prezentace.

## Reference

- [1] J. Kracík a kol., *Elektrické výboje*, Státní nakladatelství tech. univerzity, Praha (1964)
- [2] Kol. autorů, *Plazma, Pauliho princip, elektrické výboje, atd.* dostupné z:  
<http://en.wikipedia.org>
- [3] Kol. autorů, *Encyklopedie fyziky*, dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/>
- [4] Anonym, *Jakobův žebřík*, dostupné z: <http://danyk.cz/jz.html>
- [5] Kol. autorů, *Výboje v plynech*, dostupné z:  
<http://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/fyz8.htm>
- [6] Kol. autorů, *Světlé a tmavé části ve výboji*, dostupné z:  
[http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=109&id\\_casti=56](http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=109&id_casti=56)
- [7] Magda Králová a kol., *Elektrický proud v plynech*, dostupné z:  
[http://www.techmania.cz/edutorium/art\\_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b747269636bfd2070726f7564h&key=418](http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b747269636bfd2070726f7564h&key=418)